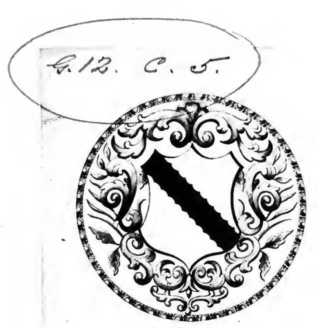



600044701M


G. 12. C. 5.



ÉTUDES SUR LES CORPS

A L'ÉTAT SPHÉROÏDAL

NOUVELLE BRANCHE DE PHYSIQUE

Paris. — Imprimerie de L. Martinet, rue Mignon, 2.

ÉTUDES SUR LES CORPS

A L'ÉTAT SPHÉROÏDAL

NOUVELLE BRANCHE DE PHYSIQUE

PAR

M.-P.-H. BOUTIGNY (d'Évreux),

ANCIEN PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ DE PHARMACIE
ET DE CHIMIE DE PARIS,

Chevalier de la Légion d'honneur,
Membre de la Société d'encouragement, de la Société des ingénieurs civils,
Membre correspondant de la Société philomatique,
de l'Académie impériale de médecine, de la Société de chimie médicale,
Membre de l'Association britannique pour l'avancement des sciences,
Membre associé de l'Institut des ingénieurs civils de Londres,
Membre correspondant de la Société royale de médecine et de chirurgie de Turin,
de la Société royale d'agriculture de la même ville,
de la Société de philosophie expérimentale de Rotterdam, etc., etc.

TROISIÈME ÉDITION

CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

« Avec du travail et de la patience,
» la souris coupe un cable. »

FRANKLIN.

« Le travail et la science sont dé-
» sormais les maîtres du monde. »

DE SALVANDY.



PARIS
LIBRAIRIE DE VICTOR MASSON
PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

M DCCC LVII

A

H. LE PAGE.

EXCELLENT AMI,

Sans ta bienveillante amitié, la deuxième édition de cet opuscule n'eût peut-être pas vu le jour; je dédie celle-ci à ta mémoire vénérée; elle vivra éternellement dans le cœur de tous ceux qui, comme moi, ont pu apprécier ton inépuisable bonté, ton noble caractère.

Adieu, excellent ami, reçois une fois de plus le tribut de mes justes regrets.

BOUTIGNY (D'ÉVREUX).

La Villette-Paris, 1857.

AVANT-PROPOS.

Il est surtout question dans cet ouvrage des phénomènes remarquables que présentent les corps projetés sur des surfaces chauffées à une température plus élevée que celle de leur point d'ébullition. L'étude de ces phénomènes avait toujours été complètement négligée et tout ce que l'on savait se réduisait pour ainsi dire à ce qui concerne de l'eau projetée dans un vase incandescent. On n'avait donc, sur cette propriété de la matière que des notions imparfaites et souvent erronées, lorsque j'ai prouvé que l'eau passait facilement *à l'état sphéroïdal* (1) à la température de + 200°; un peu plus difficilement à celle de + 171° et qu'elle s'y

(1) Cette expression d'état sphéroïdal, que j'ai proposée pour désigner la modification moléculaire dont il s'agit, est aujourd'hui passée dans la langue scientifique.

maintenait en descendant jusqu'à + 142°. Quelle différence entre cette température de + 142° et celle de 1500°, à laquelle on évalue la température blanche, température que l'on croyait nécessaire pour faire passer l'eau à l'état sphéroïdal !

Je puis donc le dire avec vérité, tout était nouveau dans ces études; mais les faits et les théories qu'elles renferment se rattachaient trop intimement aux fondements mêmes de la physique, pour qu'ils ne fussent pas un peu plus tôt, un peu plus tard, l'objet d'un examen approfondi de la part des savants. Sous ce rapport mon travail m'a toujours paru digne de l'attention des géomètres, des chimistes et des physiciens.

On comprendra toute ma pensée, et toute l'importance que j'attache à cet examen, quand j'aurai dit que *l'équilibre de chaleur ne peut pas s'établir et qu'il ne s'établit jamais entre les corps à l'état sphéroïdal et les vases qui les contiennent.* Ce défaut d'équilibre démontre de la manière la plus positive que les théories de la chaleur sont actuellement incomplètes et insuffisantes, et qu'on s'est peut-être un peu trop hâté d'appliquer à leur étude l'instrument si précieux de l'analyse mathématique, précieux surtout quand on en use avec discrétion et qu'on le manie avec habileté.

Toutefois, on le sait, les mathématiques ne sauraient ajouter ni ôter quoi que ce soit à une expérience; elles nous apprennent le *combien ;* mais sur le *pourquoi* ou le *comment*, elles se taisent presque toujours.

La première édition de mes études a paru en 1842, et s'est rapidement écoulée, malgré ses nombreux défauts ; la deuxième a paru en 1847 et a obtenu la même faveur que la première. Encouragé par ce double succès, j'ai consacré tous mes soins à cette troisième édition qui n'a, en quelque sorte, rien de commun avec celles qui l'ont précédée. Des expériences nouvelles, de nouvelles conséquences déduites des expériences anciennes, une méthode plus sévère, une distribution des matières mieux raisonnée, plus de liberté dans les théories, font du travail que je soumets aujourd'hui au public une œuvre entièrement neuve.

J'y donne une explication rationnelle du fait de l'immersion, sans danger, de la main dans un bain de fonte incandescente.

La théorie des explosions des chaudières à vapeur y a été revue et complétée ; je l'ai fait suivre de la description de mon générateur de vapeur à diaphragmes, applicable aux plus petites forces. Puis je traite du degré de sûreté de ce générateur, qui est relativement inexplosible, et j'en donne la théorie.

J'applique ensuite les diaphragmes, aux plus grandes chaudières, aux chaudières marines et aux locomotives. Je décris avec soin ces nouvelles chaudières connues sous le titre de : *Système mixte de Boutigny (d'Evreux)* et j'établis que ces divers systèmes résolvent complétement et économiquement le problème de la production de la *vapeur sèche et saturée.*

Je signalerai aussi, parmi les additions, un paragraphe sur la constitution moléculaire des corps à l'état sphéroïdal et des vues nouvelles sur la foudre sphéroïdale et sur l'origine de la houille, vues qui diffèrent radicalement de celles du plus grand nombre des géologues; et enfin une théorie nouvelle de l'éthérisation ou de l'*asphyxie par substitution.*

Tels sont les principaux changements, apportés à cette troisième édition, pour laquelle j'ose espérer une bienveillance égale à celle qu'ont rencontrée ses aînées.

L'ouvrage a conservé son ancien plan. Il est divisé en trois parties principales: dans la première, l'état sphéroïdal est envisagé dans ses rapports avec la physique; dans la deuxième, je le considère au point de vue chimique; et dans la troisième, je cherche à grouper les faits autour d'un centre commun par une théorie générale. Cette troisième partie, que j'appellerai la partie philosophique, sera elle-même sous-divisée en plusieurs chapitres; le dernier sera consacré au résumé et aux conclusions générales de l'ouvrage.

Qu'il me soit permis de terminer cet avant-propos par quelques mots sur l'origine de mes recherches.

Un soir, je faisais des expériences sur la densité relative des fécules, et je procédais comme il suit: je mettais de l'éther dans une éprouvette, j'y ajoutais de la fécule, je bouchais l'éprouvette avec l'extrémité de l'index et j'agitais fortement. Ensuite, je plaçais l'éprouvette sur son support et je notais le temps que la fécule employait à se précipiter.

Celle qui se précipitait le plus vite était ou la plus volumineuse à densité égale, ou la plus dense à volume égal; et ce résultat suffisait au but que je me proposais d'atteindre.

Comme l'éther que j'employais pour chaque expérience était en très-petite quantité, je le jetais dans un foyer où il se trouvait des tisons encore chauds; chaque fois que cet éther tombait sur un tison, une belle lueur bleue s'en échappait, et cette lueur n'avait rien de commun avec la flamme ordinaire de l'éther. Ce phénomène excita vivement ma curiosité, et me porta tout naturellement à répéter ces expériences au jour et dans des creusets.

Voici comment j'opérai : je fis chauffer légèrement un creuset de platine sur une lampe à alcool, et j'y versai quelques gouttes d'éther qui s'arrondirent sans le mouiller. Ce creuset, porté dans un endroit obscur, se trouva rempli de belles vapeurs bleues. Je reconnus, au moyen d'une bande de papier de tournesol, que la température intérieure du creuset était très-élevée, et que celle du petit sphéroïde était très-basse. En effet, la bande de papier roussit dans le creuset, mais l'extrémité qui plongeait dans le sphéroïde resta parfaitement intacte (1).

Telle a été, en abrégé, l'origine des recherches consignées dans cet ouvrage.

(1) Physiquement et non chimiquement, car elle vira au rouge. On trouvera dans la partie chimique de l'ouvrage l'explication de ce phénomène.

Les personnes qui croient à la puissance du hasard trouveront dans ces faits une nouvelle preuve de cette puissance. D'autres verront que dans les sciences d'observation, le bonheur fait quelquefois plus en un jour que le travail en dix ans. Mais hasard ou bonheur, comme on voudra l'appeler, cette fortune n'est pas arrivée à moi seul; j'en connais beaucoup d'autres exemples qui n'ont pas été publiés.

Je ne suis donc, à vrai dire, que le secrétaire et l'interprète du hasard. Puissé-je avoir bien compris son langage! Je dois avouer, du reste, que j'ai éprouvé dans l'origine (en 1836) ce qu'éprouvent ordinairement ceux qui ont le bonheur de découvrir un sujet d'études encore neuf; je n'ai pas su en apprécier immédiatement toute l'étendue ni toute l'importance : je m'étais tracé un cercle dont je me proposais d'explorer successivement tous les points, mais je me suis bientôt aperçu que ce cercle s'agrandissait de jour en jour, et à tel point, qu'il est aujourd'hui sans limites.

Je crois pouvoir dire actuellement, sans être accusé de présomption, que la découverte de l'*état sphéroïdal* ouvre une nouvelle et large voie à la physique et à la chimie expérimentales, et que la découverte d'un quatrième état physique des corps modifiera profondément plusieurs théories considérées comme vraies et suffisantes dans l'état actuel des sciences.

J'espère que l'on verra, dans la suite de cet ouvrage, que ce que j'avance ici n'est rien moins que hasardé.

Ainsi, une révolution ou tout au moins un grand progrès scientifique sera dû à quelques grammes de farine de pomme de terre. N'en a-t-il pas toujours été de même? N'avons-nous pas vu des milliers de fois les plus petites causes produire les plus grands effets?

ÉTUDES SUR LES CORPS

A L'ÉTAT SPHÉROÏDAL.

BUT DE L'OUVRAGE.

Le phénomène dont il va être question dans cet ouvrage a dû être entrevu dès la plus haute antiquité, dès l'apparition de l'homme sur la terre, pour ainsi dire. En effet, le premier qui fit chauffer un silex, un morceau de granit, un métal quelconque, et qui y laissa tomber accidentellement ou volontairement quelques gouttes d'eau, dut les voir passer à l'*état sphéroïdal*. C'est le nom que je donne à cette modification singulière. Toutefois aucune tradition historique, que je sache, n'établit nettement que ce phénomène ait été connu de l'antiquité, à moins que le verset 19 du chapitre XIX du livre de la *Sagesse* n'y fasse allusion. Voici ce verset, tel qu'il se trouve dans la *Bible de Sacy :* « Le feu, surpas- » sant sa propre nature, brûlait au milieu de l'eau, et l'eau, oubliant » la sienne, ne l'éteignait point. » Le premier membre de ce verset pourrait également s'appliquer au feu grégeois, au potassium, etc.

Plus tard, les verriers ont connu cette propriété de l'eau, et en ont su faire une application fort ingénieuse à leur art (Dumas) ; mais ce phénomène n'a été réellement observé que vers le milieu du siècle dernier, et à peu près dans le même temps par Eller (1) et par Leidenfrost (2). Depuis cette époque, le petit nombre de physiciens qui se sont occupés de ce phénomène semblent avoir pris à tâche d'établir et de propager des erreurs, ainsi qu'on le verra dans le cours de cet ouvrage ; mais il est juste de dire qu'au-

(1) *Histoire de l'Académie de Berlin*, 1746, p. 42.

(2) *De aquæ communis qualitatibus*, Leidenfrost, Duisburg, 1756.

cun d'eux ne l'a étudié à fond, et c'est là, sans doute, la cause des erreurs dont il s'agit.

Serai-je plus heureux que les savants qui m'ont précédé dans cette voie? je puis l'espérer, car j'ai multiplié presque à l'infini chaque série d'expériences, et l'on me croira sans peine quand j'aurai dit que, depuis l'année 1836, il ne s'est peut-être pas écoulé un seul jour sans que je me sois plus ou moins occupé de l'étude de ce phénomène curieux.

Du reste, je n'ai nullement la prétention d'avoir mis la dernière main à ce vaste sujet d'études; il s'écoulera, on n'en saurait douter, un grand nombre d'années avant qu'il soit épuisé. Un cercle immense qui comprend la physique, la chimie, la géologie, peut-être l'astronomie, peut-être la nature entière....., ne saurait être exploré en un jour et par un seul homme.

Ainsi que je l'ai dit dans l'avant-propos, j'ai divisé ce travail en trois parties principales. Dans la première, j'envisage l'état sphéroïdal dans ses rapports avec la physique; dans la deuxième, je le considère au point de vue chimique; et dans la troisième, je cherche à grouper tous les faits autour d'un centre commun par une théorie générale.

Dans la première partie, je me propose de déterminer :

1° La dernière limite de température à laquelle le phénomène peut se produire;

2° La loi de l'évaporation de l'eau à l'état sphéroïdal;

3° La loi de la température des corps à l'état spheroïdal, et celle de leur vapeur;

4° Si le calorique rayonnant traverse les sphéroïdes, ou s'il est réfléchi;

5° Si tous les corps peuvent passer à l'état sphéroïdal;

6° S'il y a ou non contact entre les corps à l'état sphéroïdal et les surfaces sur lesquelles ils ont pris naissance;

7° Si ce phénomène joue un rôle quelconque dans les explosions dites fulminantes des chaudières à vapeur;

8° Enfin, quelle est la constitution physique des corps à l'état sphéroïdal.

PREMIÈRE PARTIE.

PHYSIQUE.

§ I[er]. — Quelle est la dernière limite de température à laquelle l'eau peut passer à l'état sphéroïdal?

D'après M. Pouillet et la plupart des physiciens, la température blanche est nécessaire pour que l'eau passe à l'état sphéroïdal, et ce phénomène disparaît près de la température du *rouge brun*, c'est-à-dire qu'à cette température l'eau s'étale sur la surface de la capsule, la mouille, bout et s'évapore rapidement. On va voir qu'il n'en est point ainsi.

Mais avant d'aller plus loin, disons que toute la question est dans ces deux phénomènes : *mouiller*, *ne pas mouiller*.

On sait que Jurin, Clairaut, Segner, de Laplace, Young et Poisson ont tour à tour étudié le phénomène de la capillarité; que chacune de leurs théories est marquée au coin de l'analyse mathématique la plus savante, mais qu'aucune d'elles n'est complétement satisfaisante. On ne sait donc pas encore aujourd'hui *pourquoi l'eau mouille un vase froid*, mais quand on le saura, on saura aussi pourquoi elle ne le mouille pas quand il est chauffé à une certaine température. Que si, dans le premier cas, on disait · *il y a attraction entre le vase froid et l'eau*, on serait autorisé à dire, dans le second : *il y a répulsion entre le vase chaud et l'eau*. Mais nous reviendrons, dans la troisième partie, sur ce point important de la question.

1[re] *Expérience.* — On fait chauffer avec précaution, sur une lampe à alcool à double courant d'air, une capsule de plomb, et l'on y projette une ou deux gouttes d'eau au moyen d'une pipette terminée par une ouverture capillaire. Les petites gouttelettes de liquide roulent çà et là à la surface de la capsule, puis se réu-

nissent en un seul globule qui s'évapore très lentement (fig. 1); or, on sait que le plomb fond à + 260°, donc l'eau peut passer à l'état sphéroïdal à une température très inférieure à celle du rouge blanc et même du rouge sombre, évaluée à + 700°. Mais cette limite n'est point la dernière, ainsi que le prouve l'expérience suivante.

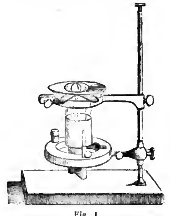


Fig. 1.

2e *Expérience.* — Une capsule hémisphérique de platine, du poids de 58 grammes et du diamètre de $0^m,082$, a été chauffée dans un bain d'huile jusqu'à 200 degrés, et de l'eau projetée dans cette capsule a passé à l'état sphéroïdal presque aussi facilement que dans la capsule de plomb. Alors j'ai laissé refroidir le bain projetant de temps à autre de petites gouttelettes d'eau dans la capsule, et j'ai pu descendre ainsi jusqu'à 171 degrés. Mais à cette dernière température, on éprouve de très grandes difficultés pour empêcher l'eau de mouiller la capsule; cependant j'y suis parvenu en prenant quelques précautions que je crois devoir indiquer ici. On fait monter seulement une ou deux gouttes d'eau dans la pipette, on la prend avec le pouce et les trois derniers doigts de la main, et l'on bouche son ouverture supérieure avec l'index. Alors, par un mouvement analogue à celui qu'on fait pour secouer une plume, on imprime des secousses assez fortes à la pipette, qui laisse échapper l'eau qu'elle contient en gouttelettes très fines, dont la réunion constitue un sphéroïde d'une fixité que l'on croirait permanente, tant son évaporation se fait avec lenteur. En employant de l'eau bouillante au lieu d'eau froide, on peut descendre au-dessous de + 171°; mais il ne m'a point été possible de descendre plus bas que + 142°.

3e *Expérience.* — On fait passer une goutte d'eau à l'état sphéroïdal dans une capsule d'argent parfaitement polie et chauffée à 200 degrés, puis on trausporte cette capsule, avec précaution,

dans un bain d'huile à 150 degrés, et l'on observe ce qui se passe. L'eau se maintient à l'état sphéroïdal jusqu'à ce que la température soit descendue à 142 degrés ; alors elle mouille la capsule et s'évapore rapidement. Jusqu'ici il ne m'a pas été possible de descendre au-dessous de cette température, qui me paraît être la dernière limite à laquelle l'eau peut passer à l'état sphéroïdal. Toutefois je n'oserais affirmer qu'il ne serait pas possible d'obtenir un résultat positif au-dessous de cette température, surtout en employant des quantités d'eau très minimes.

4ᵉ *Expérience.* — On a vu dans les expériences précédentes que l'eau pouvait passer à l'état sphéroïdal à 171 degrés. Il était intéressant de rechercher pour d'autres corps si cette température était proportionnelle à celle de l'ébullition, et j'ai reconnu qu'il en était ainsi pour l'alcool absolu et l'oxyde d'éthyle. J'ai pu les faire passer l'un et l'autre à l'état sphéroïdal dans une capsule chauffée, pour le premier à 134 degrés, et pour le second à 61 degrés.

5ᵉ *Expérience.* — L'acide sulfureux anhydre ne paraît pas soumis à la même loi. Les difficultés que l'on éprouve lorsqu'on expérimente avec ce corps ne m'ont pas permis de fixer rigoureusement la température minimum à laquelle il peut passer à l'état sphéroïdal ; je sais seulement qu'elle est très inférieure à 100 degrés, car si l'on place une grande capsule dans un poêlon d'eau bouillante, on peut facilement y faire passer l'acide sulfureux à l'état sphéroïdal, même en grandes masses (plusieurs grammes) ; mais il s'hydrate rapidement en absorbant et en congelant la vapeur d'eau. Finalement, on retire de la capsule un glaçon dont la température est extrêmement froide.

La congélation de la vapeur d'eau dans l'eau bouillante ! C'est quelque chose de nouveau et d'inattendu (1).

Il est probable que la densité de l'acide sulfureux exerce quelque influence sur la température nécessaire pour qu'il passe à

(1) D'autres expériences plus récentes m'ont enfin appris que la température nécessaire pour que l'acide sulfureux passe à l'état sphéroïdal se trouvait entre + 35° et + 40°.

l'état sphéroïdal. Ce point de physique sera l'objet de nouvelles expériences.

Mais, sauf quelques exceptions qui se trouvent dans les gaz permanents liquéfiés, on peut poser en principe que *la température nécessaire pour faire passer les corps à l'état sphéroïdal doit être d'autant plus élevée que leur point d'ébullition l'est davantage.* M. Baudrimont a fait cette remarque à l'époque où je la faisais moi-même.

6e *Expérience.* — On fait un mélange d'eau et d'acide sulfurique et on le projette dans une capsule de platine chauffée à la température la plus basse possible, mais suffisante pour que ce mélange passe à l'état sphéroïdal. On continue d'ajouter de ce mélange et de manière que le volume du sphéroïde ne varie pas. Qu'arrive-t-il? que l'acide se concentre de plus en plus, l'eau seule s'évaporant d'abord, et que la température de la capsule devient insuffisante pour maintenir à l'état sphéroïdal un mélange dont le point d'ébullition s'élève incessamment; aussi arrive-t-il un moment où le mélange s'étale sur la capsule, la mouille et bout fortement.

Cette expérience confirme la loi qui a été formulée dans l'expérience précédente.

L'acide carbonique solide la confirme également d'une manière très nette et très piquante.

Le point d'ébullition de l'acide carbonique n'est pas bien connu, mais on pense qu'il est de — 80° environ, et j'admets qu'il en est ainsi. Cela étant, on conçoit que l'acide carbonique doive passer à l'état sphéroïdal, c'est-à-dire être repoussé par tous les corps qui ont la température de notre climat, et à plus forte raison par ceux qui ont une température supérieure; or, c'est précisément ce qui a lieu quand on place un petit morceau d'acide carbonique solide dans la main; il n'y a pas de contact, et c'est à peine si l'on éprouve une sensation de froid.

Mais si l'on mêle cet acide avec de l'éther, et si on le projette dans la main, une *brûlure* profonde est la conséquence immédiate de cette expérience dangereuse.

Voici l'explication de ce fait. L'éther que l'on ajoute à l'acide

carbonique se met en équilibre de température avec ce corps; mais comme l'éther exige la température d'au moins + 60° pour passer à l'état sphéroïdal et que celle de l'homme n'est que de + 37° environ, il s'ensuit que le contact de l'éther qui est à la température de l'acide carbonique s'établit immédiatement avec la main, d'où la brûlure par soustraction instantanée de calorique.

Cette explication de l'action d'un mélange d'acide carbonique et d'éther, que j'adopte sans réserve, appartient à mon honorable ami M. Renard.

§ II. — Quelle est la loi de l'évaporation de l'eau à l'état sphéroïdal ?

Klaproth, qui a cherché la loi de l'évaporation de l'eau projetée sur une surface incandescente, a trouvé qu'elle était d'autant plus rapide que le métal était plus *refroidi*. Voici comment il a expérimenté. Il a pris une cuiller de fer poli, il l'a fait chauffer à blanc, puis il l'a retirée du feu, et il y a projeté une goutte dont l'évaporation a duré :

La première	40s
La deuxième	20
La troisième	6
La quatrième...........	4
La cinquième	2
La sixième.............	0

Ces résultats ne pouvaient guère être mis en doute, étant annoncés par Klaproth; aussi ont-ils été reproduits par la plupart des physiciens. On va voir cependant qu'ils étaient complétement erronés, et que l'évaporation est d'autant plus rapide que le métal est plus *chaud*.

On conçoit difficilement qu'un homme du mérite de cet illustre physicien ait pu donner cours à une telle erreur. Comment l'expliquer ? Admettra-t-on qu'il n'a pas pu se soustraire dans cette circonstance à l'empire des idées préconçues? que son cadre était tracé d'avance? qu'il n'a pas fait lui-même ses expériences? Dans tous les cas cette erreur est déplorable, car elle légitime le doute sur une foule d'autres résultats consignés et reproduits dans les

livres sans vérification préalable. Quoi qu'il en soit, il faut prendre le contre-pied des expériences de Klaproth pour être dans le vrai, et sur ce point, nous sommes entièrement d'accord avec de Saussure qui avait précédé Klaproth dans ces recherches. Les temps d'évaporation obtenus par ce dernier physicien sont au moins singuliers et dignes de remarque.

7e *Expérience.* — Les expériences qui vont suivre ont été faites dans la capsule qui a servi dans la deuxième expérience. Cette capsule chauffée à une température donnée, on y faisait tomber, à l'aide d'une pipette, $0^{gr},10$ d'eau, et l'on notait le temps qu'elle mettait à disparaître.

La capsule étant chauffée à 200 degrés, l'eau s'est évaporée :

A. en	3^m	7^s
B. en	3	2
C. en	4	12
	10	21
Moyenne	3	27

8e *Expérience.* — La capsule étant chauffée à 400 degrés, l'eau s'est évaporée :

A. en	1^m	32^s
B. en	1	28
C. en	1	32
	4	32
Moyenne	1	31

9e *Expérience.* — La capsule étant chauffée au rouge sombre, l'eau s'est évaporée :

A. en	1^m	12^s
B. en	1	12
C. en	1	15
	3	39
Moyenne	1	13

10e *Expérience.* — La capsule étant chauffée au rouge vif, l'eau s'est évaporée :

A. en	0^m	50^s
B. en	0	51
C. en	0	49
	2	30
Moyenne	0	50

La même quantité d'eau, 0gr,10, s'évapore par ébullition en 4 secondes, d'où il suit que l'évaporation de l'eau à l'état sphéroïdal, dans une capsule chauffée à 200 degrés, est cinquante fois plus lente que par ébullition sous la pression normale de l'atmosphère.

Mais tous ces résultats peuvent varier dans certaines limites par suite de l'état hygrométrique de l'air, de sa pression, des courants plus ou moins rapides qui peuvent exister dans le lieu où l'on expérimente ; par suite aussi de la forme de la capsule, de son poli, de sa capacité, de l'épaisseur de ses parois, etc.

Les résultats qu'on vient de lire diffèrent entièrement, comme je l'ai déjà dit, de ceux obtenus et consignés par Klaproth. Cette différence radicale proviendrait-elle de la nature du vase ayant servi à l'expérimentation ? On pourrait le croire, le fer s'oxydant à une haute température, et la présence d'un oxyde adhérent pouvant fausser les résultats. Des expériences étaient donc nécessaires pour décider s'il en était ainsi, et celles qui suivent ont été entreprises dans ce but.

Dans un cylindre de fonte de 0m,057 de longueur et de 0m,076 de diamètre, on a creusé un segment de sphère de la profondeur de 0m,028 et de la capacité de 57 centimètres cubes. Cette espèce de creuset a été chauffé au rouge vif, puis retiré du feu et nettoyé avec soin avant chaque expérience au moyen d'une gratte-brosse de fer, puis enfin on y a fait tomber quelques gouttes d'eau mesurées dans une pipette et pesant 0gr,32.

11e *Expérience.*

A.	L'eau s'évapore en		0m	55s
B.	—	—	0	59
C.	—	—	1	2
D.	—	—	1	14
E.	—	—	1	21
F.	—	—	1	45
G.	—	—	1	50
H.	—	—	2	1
I.	—	—	2	16

J. Cette expérience a été annulée, la capsule ayant été mouillée.

Ainsi, ces dernières expériences confirment les résultats que nous ont donnés les autres expériences, et nous croyons qu'il est

maintenant positivement établi que *l'évaporation de l'eau à l'état sphéroïdal est d'autant plus rapide que le vase qui la contient est plus chaud.*

§ III. — Quelle est la loi de la température des corps à l'état sphéroïdal? Quelle est celle de leur vapeur?

Pour ce qui est de l'eau, cette température serait voisine de + 100° suivant MM. Laurent (1), Le Grand, de Kramer et Belli (2); de + 77° à 80° d'après M. Peltier (3), et enfin, de + 36° à + 50° suivant M. Baudrimont (4).

Il résulte de mes expériences qu'elle est de 96 à 98 degrés, mais je crois qu'elle est réellement de 96°,5, l'oscillation de la colonne thermométrique étant due à des bouffées de vapeurs qui traversent le sphéroïde de temps à autre. J'ai essayé de plusieurs méthodes, de plusieurs procédés pour mesurer cette température; mais un seul de ces procédés m'ayant complétement réussi, ce sera le seul aussi que je décrirai. Le voici :

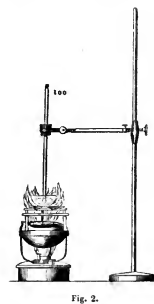


Fig. 2.

12e *Expérience.*— Une capsule hémisphérique d'argent de 0m,043 de diamètre intérieur, du poids de 45 grammes et de la capacité de 23 centimètres cubes, est placée au milieu de la flamme d'un bon éolipyle

(1) *Annales de chimie et de physique*, 1836, t. LXII, p. 327.

(2) *Giornale dell' I. R. instituto Lombardo di scienze, lettere ed arti, e Biblioteca italiana*, 1844, p. 192 e seguenti.

(3) *Archives de l'électricité, Supplément à la Bibliothèque universelle de Genève*, 1844.

(4) *Annales de chimie et de physique*, t. LXI, p. 319.

à jet vertical. Aussitôt qu'elle est rouge, on verse avec précaution 12 à 15 grammes d'eau distillée dans laquelle on plonge la boule d'un thermomètre construit pour cette expérience (fig. 2).

Il monte toujours jusqu'à + 96°,5, souvent jusqu'à 100 degrés, quelquefois jusqu'à 102 degrés. Cependant l'eau ne bout pas, mais elle est agitée par des bouffées de vapeur qui, ne pouvant se dégager que difficilement entre les parois de la capsule, traversent l'eau en frappant la boule du thermomètre, d'où l'indication supérieure au point d'ébullition de l'eau. Une autre cause d'erreur se trouve dans la haute température du milieu dans lequel plonge la tige du thermomètre. On verra plus bas que l'équilibre de chaleur qui ne s'établit pas entre l'eau et la surface incandescente s'établit toujours entre la vapeur et cette surface (1).

Le thermomètre étant à l'une des températures comprises entre 96 et 102 degrés, on éteint la flamme de l'éolipyle. Alors le dégagement de vapeur est peu considérable et il s'effectue facilement autour des parois de la capsule ; aussi le thermomètre descend-il rapidement à + 96°,5, où il se maintient fatalement, pour ainsi dire, tant que l'eau est à l'état sphéroïdal ; mais lorsqu'elle vient à changer d'état, si la capsule est encore assez chaude pour la porter à l'ébullition, et elle l'est presque toujours, le thermomètre remonte à 100 degrés, pour redescendre aussitôt suivant les lois connues du refroidissement.

Il y aurait bien quelques corrections à faire, si la tige du thermomètre était isolée ; mais on peut s'assurer par le toucher que sa température est très voisine de celle de l'eau dans laquelle la boule est plongée. Les corrections sont donc inutiles, car elles seraient à peu près insignifiantes.

Cette expérience ayant été répétée et variée un grand nombre de fois, je pensai que les autres corps à l'état sphéroïdal pouvaient, comme l'eau, rester constamment à une température infé-

(1) MM. Deleuil, ingénieurs opticiens, MM. Fabre et Kunemann, successeurs de Pixii, M. Rousseau, et MM. Boyveau, Pelletier et Compagnie, fabricants de produits chimiques, à Paris, ont réuni dans une petite caisse les appareils nécessaires pour la plupart des expériences décrites dans cet ouvrage.

rieure à celle de leur ébullition, et des expériences nombreuses m'ont appris qu'il en était ainsi pour l'alcool absolu, l'oxyde d'éthyle, et l'acide sulfureux anhydre.

La boule d'un thermomètre plongée dans le liquide à l'état sphéroïdal indique les températures suivantes :

Dans l'alcool absolu.........	+ 75°,05
Dans l'oxyde d'éthyle........	+ 34°,25
Dans le chlorure d'éthyle....	+ 10°,05
Dans l'acide sulfureux.......	— 10°,05

Je pense que l'on peut déduire de ces observations cette loi remarquable : « *La température des corps à l'état sphéroïdal, quelle que soit d'ailleurs celle du vase qui les contient, est invariable et toujours inférieure à celle de leur ébullition; elle est proportionnelle à celle-ci et de* + 96°,5 *pour l'eau.*

Je dois faire observer qu'il ne faut pas chauffer la capsule à une aussi haute température pour les quatre dernières expériences que pour l'eau. Cela n'est pas nécessaire, et une haute température aurait l'inconvénient de faire brûler avec flamme les composés combustibles; je dis avec flamme, car ils brûlent constamment sans flamme dans ces expériences, ce dont on peut s'assurer en opérant dans l'obscurité. Le résultat de cette combustion avec l'alcool, l'esprit de bois et l'oxyde d'éthyle, est de l'eau, de l'aldéhyde et un acide fort énergique. Tous ces produits feront l'objet d'un examen spécial dans la deuxième partie de ce Mémoire.

En opérant avec l'oxyde d'éthyle, on observe, dans quelques circonstances fort rares et qui me sont encore inconnues, un phénomène de lumière très éclatant qui rappelle la combustion du charbon par l'oxygène ou les chlorates; mais ce phénomène brillant ne se produit que rarement, et, je le répète, j'ignore quelles sont les circonstances qui favorisent sa production. La dernière fois que j'ai observé ce fait curieux, c'était dans mon laboratoire, en présence de MM. E. Cornuejouls, P. Deschanel et A. Bertin, tous les trois élèves de l'École normale.

Depuis cette époque, j'ai été assez heureux pour faire naître ce

phénomène sous les yeux de plusieurs physiciens et chimistes. Je citerai ici MM. Ballard, Becquerel, Despretz, Dumas, Payen, Péligot, etc., etc.

La 12e expérience, répétée un grand nombre de fois, a toujours donné le même résultat, ramené à la pression de $0^m,760$, et j'étais bien décidé à en rester là et à adopter le chiffre de + 96,°5 pour la température de l'eau à l'état sphéroïdal, sachant d'ailleurs que, sous cet état, elle jouissait d'un pouvoir réflecteur presque absolu ; mais l'expérience de MM. de Kramer et Belli, que je décrirai bientôt, est venue jeter quelques doutes dans mon esprit et me forcer à faire de nouvelles tentatives pour vérifier la température de l'eau à l'état sphéroïdal, qui semble varier avec chacun des expérimentateurs et se jouer de leurs efforts. Les personnes qui connaissent l'habileté et la sévérité des savants professeurs italiens que je viens de nommer ne seront nullement surprises de ma détermination à cet égard. Un fait annoncé par MM. de Kramer et Belli n'est pas de ceux qu'on laisse passer sans y faire attention.

13e *Expérience.*— On prend une auge de cuivre arrondie aux extrémités, ses parois ayant 2 millimètres d'épaisseur, sa longueur 20 centimètres, sa largeur 3 centimètres, et sa profondeur 2 centimetres. On la place sur deux supports, et de telle sorte qu'elle soit parfaitement horizontale et qu'elle puisse être facilement chauffée au moyen de deux bons éolipyles à jet vertical.

Un thermomètre très sensible, à cuvette cylindrique, suspendu au moyen de deux fils d'argent très fins, est descendu dans la chaudière ou auge en question, à 3 millimetres de son fond. Lorsque l'on s'est bien assuré que la chaudière est dans une position horizontale et que le thermomètre est dans la même position et à la distance qui vient d'être dite, on enlève celui-ci au moyen de son support, puis on fait rougir la chaudière. Lorsqu'elle est rouge de feu, on y verse de l'eau distillée qui passe à l'état sphéroïdal sous la forme d'un cylindre, puis on plonge le thermomètre tout entier dans ce cylindre d'eau, et on lit la température qu'il indique..... : elle est de + 96° à + 97°, soit 96°,5.

Voici les dimensions exactes du thermomètre :

Longueur de la tige	0m,148
— de la cuvette.....	0m,012
Diamètre de la cuvette	0m,003
— de la tige........	0m,0025
Poids de l'instrument......	4gr,50

L'échelle commence à la glace fondante et se termine à + 105°.

J'ajonterai, pour terminer sur ce point, que le thermomètre dont il s'agit a été construit par Collardeau, dont les instruments si parfaits sont connus du monde entier, et que celui-ci est entièrement digne de son auteur.

En montant la chaudière dont il vient d'être question sur un appareil convenable, on aurait un *niveau d'eau à l'état sphéroïdal* d'une précision et d'une sensibilité extrêmes.

Voici quelle est l'expérience de MM. de Kramer et Belli :

« Pour vérifier la température annoncée par M. Boutigny, nous avons fait, le 2 septembre 1844, M. de Kramer et moi, l'expérience suivante. Ayant fait passer une grosse goutte d'eau à l'état sphéroïdal dans une petite capsule de platine, on y plongea la boule d'un thermomètre à mercure dont la tige passait au travers d'une lame mince de mica (*una sottile lamina di mica*), assez large pour pouvoir au besoin couvrir entièrement la capsule. Et, pendant que l'un des observateurs tenait le thermomètre immergé dans l'eau et en notait les indications, l'autre, au moyen d'une petite fourchette de fil métallique ployé en forme d'Y, soulevait ou laissait descendre la lame de mica, de manière que la capsule fût alternativement découverte et converte; et, toutes les fois que la capsule était découverte, on voyait le thermomètre se tenir de deux, de trois degrés et même plus au-dessous de la température à laquelle il s'élevait quand elle était couverte. Il descendait vers + 77° R. lorsqu'on soulevait la lame de mica; et, lorsqu'on l'abaissait, il s'élevait subitement jusqu'à 80° et plus (1).»

J'ai répété cette expérience, et ainsi que je m'y attendais, je

(1) *Giornale dell' I. R. instituto Lombardo di scienze, lettere ed arti, e Biblioteca italiana*, p. 236.

l'ai trouvée parfaitement exacte ; mais il me semble qu'elle confirme tout simplement le résultat que j'ai annoncé.

J'ai dit que la température de l'eau à l'état sphéroïdal était de + 96°,5, et les physiciens de Milan l'ont trouvé de + 77° R. Or, cette dernière température correspond presque exactement à 96°,5, ainsi qu'on peut le voir par la proportion suivante :

100 : 96,5 : : 80 : 77,2.

Examinons maintenant le résultat obtenu lorsque la capsule est couverte par la lame de mica. MM. Belli et de Kramer ont vu le thermomètre monter à 80° et plus, et ils en ont conclu que la température de l'eau à l'état spheroïdal était très voisine de celle de son ébullition. « *Crederei*, dit le professeur Belli (1), *che la* » *temperatura non debba essere diversa da quella dell'ebullizione* » *che di pochi centesimi di grado.* »

Je me permettrai de faire observer que l'élévation de la température, lorsque la capsule est couverte par la lame de mica, n'a rien qui doive surprendre ; les conditions dans lesquelles on expérimente ne sont plus les mêmes. Au fond des mines, l'eau ne bout pas à la même température que sur le Mont-Blanc ; elle est solide aux pôles et toujours liquide à l'équateur.

Je rappellerai ici que la température des corps à l'état sphéroïdal est proportionnelle à celle de leur ébullition.

D'un autre côté, il ne faut pas perdre de vue que MM. de Kramer et Belli ont opéré sur une très petite quantité d'eau (*una grossa goccia*), et que la cuvette de leur thermomètre pouvait bien n'être pas entièrement immergée ; que par conséquent elle pouvait être influencée par la haute température de la vapeur. On verra plus loin que *l'équilibre et la chaleur ne s'établit pas entre les corps à l'état sphéroïdal et leur vapeur*, et que la même capsule peut contenir dans le même moment plusieurs substances à des températures très différentes.

Lorsque je répéterai ces différentes expériences dans le vide, au moyen d'un appareil convenable, je m'attends bien à trouver

(1) Voy. le *Giornale* déjà cité, p. 201.

d'autres températures, et la raison en est toute simple : les corps soumis à l'expérimentation ne seront plus dans les mêmes conditions, ne seront plus dans le même milieu. Et puis il ne faut pas oublier que la thermométrie est une des parties les plus difficiles de la physique; elle est hérissée de difficultés presque invincibles depuis qu'on sait que le 0° se déplace. Ce fait, signalé par Bellani, a été reconnu exact et se produisant dans des limites bien plus étendues que ne l'avait pensé le professeur italien. Il résulte, en effet, des observations de M. Despretz, et qui sont antérieures à celles de Bellani, que ce déplacement est déterminé par des variations brusques de température, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. D'après M. Person, ce déplacement du 0° serait beaucoup plus grand. Ce physicien l'a vu s'élever de + 17° ! (*Précis analytique de l'Académie de Rouen*, 1845, p. 21.) On n'est donc jamais bien sûr de ce que l'on fait quand on cherche à déterminer la température d'un corps à l'état sphéroïdal, et le résultat doit toujours en être accueilli avec quelque défiance.

Du reste, quoi que nous fassions, nous n'aurons jamais sur ce point de science, comme sur tous les autres, que des approximations, et nous n'avons pas besoin d'autre chose. L'imperfection de nos instruments et les bornes de notre intelligence s'opposeront toujours à ce que nous puissions atteindre la perfection ; que si par hasard on l'atteignait un jour, nous n'en saurions rien, faute d'un *criterium* pour la reconnaître.

Dans le cas particulier qui nous occupe, il suffit de savoir que les corps à l'état sphéroïdal sont constamment à une température inférieure à celle de leur ébullition, et que c'est une loi qui paraît universelle.

Il me sera permis d'espérer que MM. Belli et de Kramer me pardonneront d'avoir discuté leur expérience, et de ne point adopter leurs conclusions. Que s'il en était autrement, j'en éprouverais un véritable chagrin, car j'ai ces deux savants en grande estime.

Acide sulfureux anhydre.

Les expériences qui se font avec l'acide sulfureux anhydre sont si remarquables, et leurs résultats si imprévus, que je crois devoir entrer dans quelques détails à leur égard.

La première fois que j'eus l'idée de projeter de l'acide sulfureux anhydre dans une capsule incandescente pour l'étudier à l'état sphéroïdal, j'étais loin d'espérer que je réussirais immédiatement, et cependant je parvins, dès la première expérience, à obtenir la congélation de l'eau; aussi j'éprouvai ce jour-là une de ces jouissances de laboratoire, une de ces jouissances intimes qui ne sont connues que des physiciens et des chimistes, voués par goût, plutôt que par position, au culte et à la recherche de la vérité.....

Après avoir préparé une centaine de grammes d'acide sulfureux bien sec, j'entrepris la série d'expériences qui suivent.

14ᵉ *Expérience.* — On fait rougir à blanc une capsule de platine, et l'on y verse quelques grammes d'acide sulfureux anhydre. En observant le col du ballon contenant l'acide sulfureux, à la partie qui correspond à la main, on voit bouillir rapidement cet acide, qui cesse immédiatement de bouillir lorsqu'il est dans la capsule, et il offre à l'œil de l'observateur tous les phénomènes physiques que présente l'eau. Son évaporation surtout se fait avec une lenteur incroyable et sans aucun signe d'ébullition. Opère-t-on par un temps humide, l'acide sulfureux s'opalise et perd de plus en plus sa transparence; puis il se solidifie, et l'on reconnaît avec étonnement que ce solide est presque entièrement composé d'eau. Le résultat serait différent si l'on expérimentait dans un air très sec ; alors l'acide sulfureux ne se solidifie pas, et il s'évapore sans laisser de résidu.

Avant de passer à une autre expérience, faisons remarquer que l'acide sulfureux bouillant se refroidit dans une capsule incandescente. Il en est de même pour les autres corps; l'eau bouillante, par exemple, traitée comme l'acide sulfureux, descend immédiatement à $+ 96°,5$.

15ᵉ *Expérience.* — On verse goutte à goutte de l'eau distillée

dans de l'acide sulfureux à l'état sphéroïdal, et cette eau se congèle instantanément, même quand la capsule est chauffée à blanc.

16ᵉ *Expérience.* — On plonge pendant une demi-minute environ la boule d'un petit matras contenant 1 gramme d'eau distillée dans de l'acide sulfureux à l'état sphéroïdal, puis on l'en retire, on le casse et l'*on y trouve un petit morceau de glace.*

Ainsi, dans cette expérience, on voit dans le même moment et dans le même vase l'équilibre de chaleur s'établir immédiatement entre l'eau et l'acide sulfureux, et cet équilibre ne pouvoir pas s'établir entre l'acide et la capsule.

La cause de la congélation de l'eau dans de l'acide sulfureux est, du reste, facile à comprendre ; il suffit de se rappeler la loi de la température des corps à l'état sphéroïdal formulée plus haut. (*Voyez la* 12ᵉ *expérience.*)

Elle n'est pas due, ainsi qu'on pourrait le croire au premier abord, à l'évaporation de l'acide sulfureux, car *il ne s'évapore que par la surface, et c'est dans l'intérieur du sphéroïde que la congélation a lieu.* On sait d'ailleurs que les corps à l'état sphéroïdal s'évaporent cinquante fois moins vite que par l'ébullition. (*Voyez la* 10ᵉ *expérience.*)

Quelques développements sont nécessaires ici pour empêcher qu'une erreur (je le crois du moins) qui tend à s'accréditer sous le patronage d'hommes très haut placés dans le monde savant, ne se propage et ne soit ensuite très difficile à détruire.

On a voulu assimiler la congélation de l'eau *dans* l'acide sulfureux à l'état sphéroïdal à la belle expérience de M. Bussy, qui consiste, comme on sait, à verser doucement de l'acide sulfureux anhydre à la surface de l'eau. L'évaporation de l'acide est si rapide, une si grande quantité du calorique de l'eau devient latente dans la vapeur de l'acide, que la congélation est presque instantanée. C'est un résultat fort curieux assurément, mais facilement explicable.

Voici d'autres expériences parfaitement analogues :

On verse de l'éther hydrique très pur sur un verre entièrement plein d'eau, et on le place de manière à faire arriver un courant d'air très rapide à sa surface. A défaut d'un courant d'air naturel, on produit un courant artificiel au moyen d'un chalumeau, et le

résultat est le même. Une grande quantité de calorique devient latente dans la vapeur d'éther et l'eau se congèle. Cette expérience réussit également bien avec le chlorure d'éthyle, et sans doute elle réussirait avec tous les corps très volatils.

On peut varier ces expériences de la manière suivante : On remplit d'eau la boule d'un thermomètre et on l'entoure de coton cardé, puis on verse doucement sur ce coton soit de l'acide sulfureux, soit de l'éther, soit du chlorure d'éthyle, etc., et, quelle que soit la substance que l'on ait employée, le résultat final est toujours le même : *la congélation de l'eau contenue dans la boule.*

Maintenant, que l'on fasse passer de l'acide sulfureux à l'état sphéroïdal et qu'on y projette quelques gouttes d'eau ; elle se congèlera instantanément par la raison que voici. L'eau, mise en contact avec un corps dont la température est égale à — 11°, cède une partie de son calorique à ce corps ; celle de l'eau s'abaisse, et aussitôt qu'elle est descendue à 0°, elle se solidifie ; puis le refroidissement d'une part, et de l'autre l'échauffement, continuent jusqu'à ce que l'équilibre soit établi entre l'acide et l'eau, ce qui a lieu presque immédiatement. Assurément si l'on versait à la fois une quantité d'eau considérable, il y aurait ébullition de l'acide, et, dans ce cas, la congélation de l'eau participerait de deux causes : savoir, de la vaporisation de l'acide et de sa température à l'état sphéroïdal.

En un mot, pour nous, la congélation de l'eau *dans* l'acide sulfureux à l'état sphéroïdal est un phénomène du même genre, un phénomène parfaitement identique avec celui qui s'accomplit quand on laisse tomber quelques gouttes d'eau dans une petite capsule refroidie préalablement à — 11° ; elles se congèlent immédiatement. Dira-t-on, dans ce dernier cas, que la congélation est due à la vaporisation de la capsule ?.... On ne peut voir là que l'établissement de l'équilibre du calorique. La température de l'eau s'abaisse, celle de la capsule s'élève, absolument comme dans l'expérience avec l'acide sulfureux (1).

(1) Voici comment s'exprime M. le professeur Belli sur ces expériences : « ..... *Derivano alcuni fatti del tutto inaspettati e quasi incredibili.* » (*Giornale dell' I. R. Instituto Lombardo*, etc., p. 201.)

Voici une autre expérience encore plus vulgaire. Pendant les fortes gelées de nos climats, on expose à l'action de l'air, pendant une heure, une bouteille vide, puis on la rentre dans un appartement chaud où il y a un certain nombre de personnes. Presque immédiatement la bouteille se recouvre en dedans et en dehors d'une couche de givre plus ou moins épaisse, suivant que l'air de l'appartement est plus ou moins saturé d'humidité. Personne assurément ne serait tenté de dire que la congélation est due à la *vaporisation du verre.* C'est encore un fait d'équilibre.

On a vu un peu plus haut de l'eau se congeler dans la boule d'un thermomètre quand on l'arrosait avec de l'acide sulfureux, de l'éther, du chlorure d'éthyle, etc. On a vu aussi l'eau se congeler quand on la versait dans l'acide sulfureux à l'état sphéroïdal.

Maintenant faisons passer successivement de l'éther et du chlorure d'éthyle à l'état sphéroïdal, versons-y quelques gouttes d'eau et voyons si elle s'y congèlera. Assurément non. Et cependant l'évaporation n'est ni plus ni moins rapide qu'avec l'acide sulfureux. Pourquoi donc la congélation n'a-t-elle pas lieu? Pourquoi? Parce que la température de l'éther et du chlorure d'éthyle est supérieure à 0°. Il n'y a pas d'autre cause que celle-là.

Ainsi, selon nous, la congélation de l'eau dans l'expérience qui vient d'être décrite a lieu en vertu de la loi de la température des corps à l'état sphéroïdal, formulée dans la 12ᵉ expérience, et nous croyons être autorisé à dire que c'est un fait désormais acquis à la science.

Les personnes qu'une légitime curiosité porte à tout expliquer quand même, se demandent peut-être pourquoi l'acide sulfureux reste froid dans un vase incandescent? Peut-être aussi répondront-elles que cet acide reste froid par suite de sa vaporisation ; mais nous pensons qu'elles se tromperaient. En effet, nous avons vu précédemment que l'eau à l'état sphéroïdal dans une capsule à 200 degrés donnait 50 fois moins de vapeur que par ébullition, ou, ce qui revient au même, qu'elle s'évaporait 50 fois moins vite. Si nous appliquons ce fait à l'acide sulfureux, nous dirons: C'est une propriété de l'acide sulfureux de rester au-dessous de la température de son ébullition dans des vases incandescents, et c'est

parce qu'il en est ainsi, qu'il donne peu de vapeurs et qu'il se volatilise si lentement. Bref, ce n'est pas parce qu'il donne peu de vapeurs que l'acide sulfureux ne bout pas ; mais bien parce qu'il ne bout pas, qu'il donne peu de vapeurs.

Dans la partie théorique de cet ouvrage, nous ferons intervenir les actions moléculaires pour essayer de montrer que la cause de ce phénomène est et sera peut-être éternellement inconnue. Quant à présent, nous ne pouvons l'expliquer autrement qu'en disant : C'est une propriété de la matière, c'est-à-dire un effet dont la cause est inconnue.

L'illustre Robiquet ne se trompait donc pas quand il disait dans son rapport à l'Académie : « Ces phénomènes méritent une attention bien sérieuse, et leur étude promet d'importants résultats (1). »

Les expériences qui précèdent, particulièrement la 14ᵉ, ne m'autorisent-elles pas à dire que l'acide carbonique solide de Thilorier n'est autre chose que de l'acide carbonique hydraté, et que cet acide n'a été vu jusqu'ici qu'à l'état gazeux et à l'état sphéroïdal ? L'analogie me paraît frappante. Au reste, je me propose d'étudier cet acide sous ce point de vue, ainsi que le chlore, l'ammoniaque, le cyanogène, etc.

Nous savons déjà que l'acide carbonique solide, projeté dans une capsule incandescente, se comporte comme l'acide sulfureux solidifié (hydraté); il se promène à la surface de la capsule sans faire explosion, et l'on ne saurait dire s'il se volatilise plus vite dans cette circonstance qu'à l'air libre (Dumas).

Cette expérience (la 16ᵉ), sur laquelle nous nous sommes longuement étendu, peut être variée de la manière suivante. A 5 millimètres de la boule qui contient l'eau destinée à la congélation, on souffle une seconde boule, que l'on remplit également d'eau, ainsi que la partie du tube qui se trouve entre les deux boules ; puis on plonge la boule inférieure dans l'acide sulfureux à l'état sphéroïdal. L'eau contenue dans cette boule se congèle, ainsi qu'on l'a vu, et celle qui est contenue dans la seconde boule entre

(1) Voyez le *Compte rendu hebdomadaire des séances de l'Académie des sciences*, séance du 9 mars 1840.

assez vite en ébullition. Ainsi, dans cette expérience, on a, dans le même moment, quatre températures qui diffèrent considérablement entre elles :

La température	de la capsule...............	= 1500°?
—	de SO^2....................	= — 11°.
—	de l'eau immergée..........	= — 11°.
—	de l'eau de la seconde boule..	= + 100°.
—	de l'eau et de la vapeur.....	= la moyenne des quatre températures précédentes.

17e *Expérience.* — On fait chauffer à blanc le moufle d'un fourneau à coupelle ; on y fait rougir une capsule de platine dans laquelle on verse quelques grammes d'acide sulfureux anhydre, puis on repousse la capsule au fond du moufle, dont on ferme l'ouverture en se ménageant un petit espace pour observer l'acide sulfureux et livrer passage à l'air. Si le temps est sec, il s'évapore lentement sans bouillir, absolument comme à l'air libre, quoiqu'il soit soumis à une température excessivement élevée et à l'action de rayons calorifiques qui se croisent dans tous les sens ; mais, si le temps est humide, l'eau hygroscopique va se congeler dans l'acide sulfureux au fond du moufle, et, finalement, *on retire de la capsule un petit glaçon d'un froid brûlant !*

Dans les cours publics où l'on n'a pas le temps d'attendre, on verse, au moyen d'une pipette, quelques gouttes d'eau dans le sphéroïde d'acide sulfureux, où elle se solidifie immédiatement. La capsule doit être enlevée tout aussitôt du moufle, et son contenu versé dans la main : c'est un morceau de glace imprégné d'acide sulfureux.

Le résultat de cette expérience m'inspira, dans le courant de l'année 1841, l'idée de la répéter avec de l'acide carbonique au lieu d'acide sulfureux, ayant en vue *la congélation ou solidification du mercure dans un creuset incandescent.*

J'en parlai à M. Lesueur, chef des travaux chimiques à la Faculté de médecine, et nous fîmes en commun, auprès d'Orfila, une démarche qui avait pour but d'avoir à notre disposition, pendant quelques jours, l'appareil de Thilorier ; mais Orfila nous refusa positivement cet appareil, mû dans cette circonstance par un sen-

timent d'humanité que nous approuvâmes alors et que nous approuvons encore aujourd'hui, quoiqu'il nous ait enlevé l'honneur d'avoir exécuté les premiers une des plus belles expériences de la physique moderne : on se rappelle que le jeune Hervy avait été victime de l'explosion de l'appareil de Thilorier quelque temps avant notre demande, et c'est cet événement malheureux qui a motivé le refus d'Orfila.

J'ai dû ajourner indéfiniment cette expérience, qui a été faite depuis, en Angleterre, avec un plein succès par M. Faraday. La lettre que l'illustre physicien m'a fait l'honneur de m'écrire sur ce sujet est du 28 décembre 1846. J'en ai publié un extrait dans les *Annales de chimie* (n° de mars 1847), que je transcris ici littéralement :

«...... J'ai fait une expérience qui ne se trouve pas dans votre ouvrage, quoiqu'il y en ait une qui s'en rapproche et qui a été faite par M. Dumas ; elle est décrite à la page 102. Il m'a été possible, en vertu de l'état sphéroïdal, de congeler du mercure avec la plus grande facilité dans un creuset rouge de feu. J'ai d'abord fait rougir un creuset de platine, et l'ai maintenu à cette température ; j'y ai introduit de l'éther, puis de l'acide carbonique, et enfin j'ai plongé dans le mélange à l'état sphéroïdal une capsule métallique contenant environ 31 grammes de mercure, qui s'est solidifié au bout de deux ou trois secondes. Il a paru très étrange que du mercure plongé dans un creuset rouge de feu ait pu en sortir congelé. » (*Voy. la 6ᵉ expérience.*)

Je n'aurais certainement pas fait connaître au monde savant que j'avais conçu l'expérience de Faraday, et que j'en avais prévu le résultat, si Orfila n'avait, de son propre mouvement, revendiqué pour la France l'honneur de cette expérience. C'était dans une de ses leçons de chimie à l'École de médecine (janvier 1848), et je ne l'ai appris que par les élèves qui suivaient son cours, notamment par M. de Letour. Orfila a donné, dans cette circonstance, une nouvelle preuve des sentiments de justice et de patriotisme qui l'animaient.

Je suis bien sûr que l'illustre successeur de Davy approuvera le sentiment qui a dicté ce qui précède.

18e *Expérience.* — L'expérience qui précède est à peine croyable. Celle-ci l'est moins encore. On pose sur la platine d'une machine pneumatique un morceau de brique disposé de telle sorte qu'il ne puisse boucher l'ouverture du conduit destiné au passage de l'air ; tout autour de cette brique on étend une couche de bioxyde de plomb très sec destiné à absorber l'acide sulfureux. Les choses étant ainsi disposées, on fait rougir à blanc un autre morceau de brique dans lequel on a creusé d'avance une cavité égale à la convexité d'une capsule quelconque. Cette capsule est placée dans la cavité qui lui est destinée, on y verse quelques grammes d'acide sulfureux anhydre, et le tout est placé sur la brique froide et recouvert du récipient dans lequel on fait le vide le plus rapidement possible.

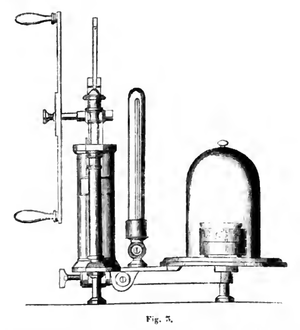


Fig. 5.

L'acide sulfureux, qui devrait, pour ainsi dire, faire explosion, ne bout pas et s'évapore lentement comme dans une capsule chauffée à blanc, comme dans le moufle du fourneau à coupelle ; et, chose remarquable, si l'on opère par un temps humide, le peu

d'eau contenu dans l'air du récipient va se congeler dans le sphéroïde d'acide sulfureux, dont il trouble la transparence.

L'éther, l'alcool et l'eau se comportent absolument comme l'acide sulfureux dans le vide.

Ces expériences, comme on le voit, ouvrent un vaste champ de recherches aux expérimentateurs.

Maintenant que la température des corps à l'état sphéroïdal est connue, je vais chercher celle de la vapeur qu'ils fournissent.

19e *Expérience.* — Une chaudière sphérique de cuivre rouge, de la capacité de 250 cent. cubes, est placée, au moyen d'un support, sur la flamme d'une lampe à alcool à double courant; lorsqu'elle est rouge, on y verse avec une pipette, de 10 à 15 grammes d'eau distillée qui passe à l'état sphéroïdal. Alors on descend dans la chaudière un thermomètre disposé à l'avance et de manière

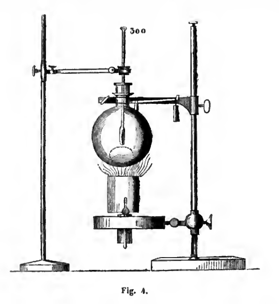


Fig. 4.

qu'il soit le plus près possible de l'eau sans y toucher, puis on observe la colonne thermométrique: on la voit monter rapidement jusqu'à 150, 200, 300 degrés et au delà, suivant l'intensité de la flamme.

20e *Expérience.* — On la prépare comme la précédente, et, lorsque le thermomètre indique la température de 200 degrés, on soustrait la chaudière à l'action de la lampe, et bientôt après l'eau change d'état, mouille les parois de la chaudière et bout fortement, et le thermomètre descend tout à coup à 100 degrés, conformément aux lois de l'équilibre de chaleur.

21e *Expérience.* — On fait chauffer à blanc un petit obus, et l'on y verse 15 à 20 grammes d'eau distillée qui passe à l'état sphéroïdal. La vapeur qu'elle fournit se décompose et donne naissance, d'une part à de l'oxyde de fer de l'autre à un courant d'hydrogène qui s'enflamme ordinairement au niveau de l'œil de l'obus.

Cette manière de considérer ce phénomène est basée sur des faits chimiques bien connus, mais peut-être est-elle erronée. En effet, aujourd'hui qu'il est établi que l'eau peut être décomposée et réduite en ses éléments constituants par l'action seule de la chaleur (*voyez la* 38e *expérience*), ne pourrait-il pas arriver que l'eau fût décomposée, et que le jet de flamme qui s'échappe de l'œil de l'obus fût le résultat de la recomposition de l'eau ? La chose me paraît, non-seulement possible, mais vraisemblable. Cependant on ne pourra se prononcer sur ce point qu'après avoir recueilli sous une cloche, au moyen d'un tube abducteur, les gaz qui se dégagent de l'obus. On les analysera, et l'on sera alors bien fixé sur la nature du phénomène.

J'aurais bien désiré mettre la dernière main à cette expérience, mais je manque de moyens suffisants d'expérimentation...

Ces propriétés de l'eau à l'état sphéroïdal, qui ont été soupçonnées par M. Lechevalier, officier d'artillerie, puis niées formellement depuis par d'autres physiciens, sans réclamation de la part de M. Lechevalier, sont des faits actuellement incontestables et des faits capitaux ; car ils montrent que le principe de l'équilibre du calorique et de l'équilibre de tension, qui est fondamental, n'existe pas pour les corps à l'état sphéroïdal, ainsi que je m'en suis assuré maintes fois, comme on le verra dans le paragraphe qui traite de l'explosion des chaudières à vapeur.

§ IV. — Le calorique rayonnant traverse-t-il les corps à l'état sphéroïdal sans s'y combiner, ou bien est-il réfléchi par ces corps?

Tous les physiciens ont admis jusqu'ici que les rayons calorifiques traversaient l'eau à l'état sphéroïdal sans s'y combiner, et que c'était la cause de la lenteur de son évaporation; c'était une erreur (1).

22ᵉ *Expérience.* — On fait rougir une capsule de platine, et au moyen d'un support on place la boule d'un tout petit matras, contenant 1 centimètre cube d'eau, à 0,001 du fond de la capsule. Le calorique rayonnant se combine à la paroi du matras; celle-ci échauffe la première couche d'eau qui est remplacée par une autre, etc., et l'eau ne tarde pas à bouillir avec beaucoup de force. Alors on enlève le matras, et l'on introduit une nouvelle quantité d'eau pour recommencer l'expérience de la manière suivante.

23ᵉ *Expérience.* — La capsule étant rouge, on y verse une certaine quantité d'eau qui passe à l'état sphéroïdal. On place la boule du matras au milieu du sphéroïde, et aucun signe d'ébullition ne se manifeste dans l'eau qu'il contient; donc les rayons calorifiques ne traversent pas le sphéroïde, donc ils sont réfléchis.

24ᵉ *Expérience.* — La même que la précédente. Mais avant de placer le matras dans le sphéroïde, on projette dans celui-ci de la sciure de bois, du sable, de la limaille de fer, du verre pilé ou toute autre substance insoluble, et l'eau du matras ne bout pas plus dans cette expérience que dans la précédente; donc le calorique est réfléchi.

M. Marchand, de Berlin, a publié en 1840 une note sur les phénomènes que présente l'alcool à l'état sphéroïdal, et il a annoncé qu'une pincée de sable empêchait le phénomène de se produire; mais j'ai toujours vu le contraire. Comme il ne s'agit que

(1) Des raisons particulières m'obligent à dire que j'étudie cet ordre de phénomènes depuis 1836, et qu'une première note sur l'éther a été imprimée dans un journal scientifique vers la fin de l'année 1837.

d'un fait matériel, tout le monde peut décider qui, de M. Marchand ou de moi, se trompe.

25e *Expérience.* — On délaie du noir de fumée dans de l'eau pour en faire une bouillie claire, et on la projette dans une capsule rouge de feu pour la faire passer à l'état sphéroïdal, puis on plonge dans le sphéroïde la boule du matras qui a servi dans les expériences précédentes, et l'eau qu'il contient reste toujours sans bouillir; donc le calorique est réfléchi.

D'ailleurs, la boule d'un thermomètre plongée dans cette bouillie n'indique que la température de l'eau à l'état sphéroïdal. Il n'est pas inutile de rappeler ici que le noir de fumée est le corps le plus absorbant que l'on connaisse.

L'eau contenant du noir de fumée ne bout pas dans le moufle du fourneau à coupelle; elle s'y maintient à l'état sphéroïdal, comme à l'air libre, et cependant elle est soumise de toutes parts à l'action incessante du calorique rayonnant. Cette expérience seule suffirait pour prouver que les sphéroïdes ont la propriété si curieuse de réfléchir le calorique.

Mais si, au lieu de projeter des substances insolubles dans l'eau à l'état sphéroïdal, on y projette des sels solubles, sa température croît proportionnellement à celle de son ébullition. Ainsi, une solution de chlorure de sodium contenant 29 pour 100 de ce sel, et qui bout à 108°,5, donne, à l'état sphéroïdal, la température de 104 degrés et une fraction.

Il est à remarquer que le sable, la limaille de fer, le verre, etc., qui, en vertu de la pesanteur et de leur densité, devraient rester en contact avec la capsule, n'y restent pas ; ces corps sont attirés et enveloppés par les sphéroïdes qu'ils accompagnent dans tous leurs mouvements jusqu'à leur entière évaporation ; ils forment au nadir du sphéroïde un segment tout à fait propre à absorber le calorique rayonnant, s'il traversait l'enveloppe qui limite le corps à l'état sphéroïdal. Les molécules de ces corps se rapprochent de plus en plus, et il reste sur la capsule soit un hémisphère, soit une coupe, soit un disque percé ou non d'un trou central. (*Voy. plus loin la 31e expérience.*)

Ainsi, il est positivement établi que les corps à l'état sphéroï-

dal réfléchissent les rayons calorifiques, quand ils ont atteint leur température maximum, température qui est toujours inférieure à celle de leur ébullition. N'est-il pas évident que si les corps à l'état sphéroïdal ne réfléchissaient pas le calorique, la congélation de l'eau serait impossible dans la 16e expérience?

Cette propriété remarquable de réfléchir absolument le calorique, qui est un des caractères des corps à l'état sphéroïdal, achève de confirmer l'hypothèse la plus hardie de ce siècle sur la température et la constitution physique du soleil. Cette hypothèse, qui est due à Herschell, avait acquis déjà un grand degré de probabilité par les expériences polariscopiques d'Arago. Cette hypothèse sera l'objet d'une discussion approfondie dans la troisième partie de ce Mémoire.

Nous voyons, dans toutes ces expériences (la 22e exceptée), que le calorique est réfléchi par les corps à l'état sphéroïdal; cela nous paraît démontré. Toutefois on peut se demander si c'est bien le sphéroïde qui réfléchit le calorique; si cette réflexion n'aurait pas lieu par son atmosphère, ou bien encore si les rayons ne pénétreraient pas quelque peu dans le sphéroïde d'où ils seraient ensuite réfléchis? Quant à présent, nous croyons la physique expérimentale hors d'état de résoudre ces questions, qui nous paraissent appartenir à l'analyse mathématique. Nous abandonnons donc la solution aux savants qui font le métier de géomètres (1).

§ V. — Tous les corps peuvent-ils passer à l'état sphéroïdal?

Tous les liquides indistinctement, même les huiles fixes, contrairement à l'opinion de M. Munck, peuvent passer à l'état sphéroïdal. Il en est de même de tous les solides volatils, et l'on peut dire que tous le sont. La cire et les corps gras ne font pas exception. La température nécessaire pour faire passer les corps à l'état sphéroïdal doit être d'autant plus élevée que leur point d'ébullition l'est davantage (voyez § I), ou que la température à laquelle ils se décomposent est plus haute. Ici il faut faire une distinction

(1) Expression favorite d'un des plus grands géomètres de l'Europe.

de quelque importance. Je ne crois pas que les corps gras soient susceptibles d'ébullition, et il en est de même de la plupart des sels ammoniacaux. Ces sortes de combinaisons se décomposent à une température plus ou moins élevée, mais elles ne bouillent pas dans le sens rigoureux du mot. Que l'on mette de l'eau dans un vase et de l'huile d'amandes douces dans un autre, et qu'on les place tous les deux sur un foyer, on reconnaîtra facilement que ma remarque est fondée. C'est donc à tort qu'on dit : L'huile de lin bout à 316 degrés; il faut dire : L'huile de lin se décompose à 316 degrés.

L'huile de ricin reste assez longtemps à l'état sphéroïdal pour être observée sous cet état. Cette propriété la rapproche des huiles volatiles, avec lesquelles elle a quelque analogie par sa solubilité en toutes proportions dans l'alcool.

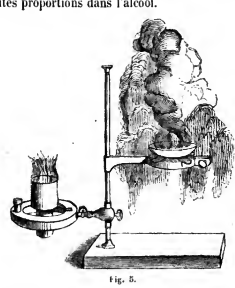


Fig. 5.

Les huiles des euphorbiacées seraient-elles destinées à former l'anneau qui doit lier les huiles fixes aux huiles volatiles?... C'est à la chimie organique qu'il appartient de résoudre ce problème (1).

(1) M. Bussy a extrait récemment de l'huile de ricin une huile volatile qu'il nomme *œnanthol*. Cette huile bout entre 155 et 158 degrés.

Ainsi le problème est maintenant résolu : l'huile de ricin se trouve natu-

Je reviens à l'état sphéroïdal.

26e *Expérience.* — On prend une capsule de platine presque plane, on la fait rougir sur un éolipyle et l'on y projette 1 gramme environ d'iode, qui passe immédiatement à l'état sphéroïdal. Des vapeurs d'iode rares et transparentes entourent le sphéroïde et se dégagent de la capsule d'une manière assez régulière. On éteint l'éolipyle, et un instant après l'iode passe à l'état liquide ordinaire, s'étale sur la capsule, bout avec force et donne naissance à un volume considérable de vapeurs du plus bel effet. (Voy. la fig. 5.)

On juge à merveille, avec l'iode, de la différence qui existe entre l'évaporation d'un corps à l'état sphéroïdal et l'évaporation du même corps par ébullition; elle est parfaitement tranchée.

Cette expérience est très brillante et peut être facilement répétée dans un cours.

Le sublimé corrosif à l'état sphéroïdal est transparent comme de l'eau, il ne se décompose pas; il en est de même du calomel.

L'iodhydrargyrite de chlorure mercureux, ou iodure de chlorure mercureux, se comporte comme le sublimé corrosif (1).

Le chlorure sodique, le chlorure et le carbonate d'ammoniaque ne se décomposent pas non plus.

Le chlorure de carbone brûle *quelquefois* avec une belle flamme violette. Quand il s'évapore sans s'enflammer, il reste du charbon sur la capsule. En général, dans tous les corps qui contiennent du carbone, c'est ce corps qui brûle le dernier.

Le phosphore passe très facilement aussi de l'état solide à l'état

rellement classée entre les huiles fixes et les huiles volatiles. (*Compte rendu*, séance du 7 juillet 1845.—Voy. aussi la *première édition de cet ouvrage*, p. 25.)

(1) On obtient cette combinaison en suspendant des cristaux de chlorure mercureux dans un flacon qui contient de l'iode; elle est d'un rouge magnifique, peu sapide et peu soluble.

Cette combinaison offre un cas d'épigénie fort remarquable, dont l'étude au microscope sera sans doute propre à faire connaître l'arrangement moléculaire des corps.

Cette combinaison, dans certaines proportions encore indéterminées, présente le phénomène assez rare d'un corps composé fusible, doué d'une certaine fixité, encore bien que tous ses éléments soient très volatils.

L'iodure de chlorure mercureux sera de ma part l'objet d'une étude toute particulière.

sphéroïdal; il brûle vivement et se transforme en acide phosphorique. Une température très élevée est nécessaire pour ce corps, et, pour peu qu'elle s'abaisse, le contact a lieu, il se fait du phosphure de platine, et la capsule est percée et fondue avec une incroyable rapidité. J'ai vu ce dernier fait se produire avec une capsule de $0^m,0015$ d'épaisseur.

Je pourrais citer cent autres snbstances sur lesquelles j'ai expérimenté, mais cela serait inutile ici, en ce sens qu'il en sera longuement question dans la deuxième partie de ce Mémoire.

L'acide nitrique se décompose ou se dédouble. Ce serait probablement un bon moyen d'obtenir l'acide hypo-azotique.

Je ne citerai plus que l'azotate d'ammoniaque qui se décompose sans s'enflammer, ainsi qu'on va le voir un peu plus bas.

27[e] *Expérience.* — On met 1 gramme environ d'azotate d'ammoniaque dans une capsule de platine et on la chauffe. L'azotate fond, puis il brûle; c'est de là que lui est venu le nom sous lequel il était anciennement connu : *nitrum flammans.*

28[e] *Expérience.* — On fait rougir une capsule de platine et l'on y projette de l'azotate d'ammoniaque qui se décompose à la manière des huiles fixes sans laisser de résidu, mais il ne brûle pas. Les produits de cette décomposition seront examinés dans la deuxième partie de ce Mémoire.

Voici un autre fait qui n'est pas moins curieux que celui-ci, et qui montre combien l'état sphéroïdal modifie profondément la matière dans certains cas. Tout le monde admettra *à priori* qu'en touchant au sphéroïde d'azotate d'ammoniaque avec le bout d'une allumette incandescente, ce sel s'enflammera. Eh bien! il n'en est rien; il est tout à fait réfractaire à la combustion.

Les deux expériences qui précèdent montrent tout le parti que les chimistes pourront tirer de ce nouveau mode d'action de la chaleur sur les corps. (Voyez le commencement de la deuxième partie.)

Celle-ci (la 28[e]) est vraiment extraordinaire! Elle nous offre le spectacle nouveau d'un corps éminemment combustible qui devient incombustible dans les circonstances les plus favorables à la combustion. Et quelques personnes s'étonnent que je me sois

passionné pour cet admirable sujet d'études! mais c'est le contraire qui serait étonnant.

C'est ici le lieu de faire remarquer que la répulsion qui existe, quelle qu'en soit la cause, entre les surfaces incandescentes et les corps qu'on y projette, s'étend aux solides, et qu'elle a également lieu des liquides aux liquides.

« Ainsi, en échauffant l'appareil dont on se sert en optique pour le phénomène des anneaux colorés, et qui consiste en deux verres posés l'un sur l'autre, Powel a constaté un écartement très notable. Addams a obtenu aussi des signes bien évidents de répulsion entre les surfaces échauffées et certains corps pulvérulents. Par exemple, en mettant un peu de silice dans une capsule de platine au-dessus d'une lampe à alcool, il a vu que la poudre acquérait en quelques secondes une mobilité extrême; le frottement était si faible, que souvent la silice ne bougeait pas, quoiqu'on fît glisser le vase au-dessous. On a des phénomènes semblables avec la magnésie, le peroxyde de manganèse, etc. Nous citerons encore une expérience bien remarquable de Trévelyan, pour montrer la répulsion entre des métaux échauffés. Si, sur un morceau de plomb, on pose une masse de cuivre fortement échauffée, et d'une forme telle qu'elle ne touche que par un point, le plomb, au point de contact, s'échauffe, et la masse de cuivre se trouve soulevée d'une petite quantité. Pendant ce temps, la chaleur se répartit dans le plomb; de sorte que la répulsion diminue et que la masse se rapproche pour être repoussée de nouveau, et ainsi de suite. Ces alternatives se succèdent si rapidement, qu'il se produit un son ordinairement assez grave, mais qu'on peut rendre très aigu en appuyant sur la masse de cuivre, ce qui limite les excursions; c'est même par le son qu'on a été averti du mouvement qui a lieu dans cette expérience (1). »

Quant aux liquides, voici ce que j'ai observé. On fait chauffer de l'acide sulfurique à une température voisine de celle de son ébullition, et on y laisse tomber quelques gouttes d'eau ou d'alcool, ou d'éther, et l'on voit ces divers liquides passer à l'état sphéroïdal, à peu près comme si on les projetait dans des vases

(1) Person, *Eléments de physique*, t. II, p 30.

chauffés convenablement pour la production de ce phénomène. En chauffant de l'huile de lin, ou toute autre huile fixe, on obtient des résultats analogues. L'eau, l'éther, l'alcool, etc., se comportent de même. M. Pelouze a vu le même phénomène se produire lorsque l'on projette de l'eau sur de l'essence de térébenthine suffisamment chauffée. L'eau, en effet, s'arrondit en globule à la surface de l'essence et ne se précipite pas au fond, comme elle devrait le faire en vertu de sa densité (1). En prenant quelques précautions, on peut *empiler* un certain nombre de liquides les uns sur les autres.

M. Choron a également étudié ce dernier phénomène, et il a consigné les résultats qu'il a obtenus dans un Mémoire qu'il a adressé à l'Institut. Ce Mémoire n'étant pas encore publié, je ne puis que le signaler aux savants.

Le docteur Légal (Dieppe) a constaté que l'éther passait facilement à l'état sphéroïdal à la surface de l'eau à + 100° (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, premier semestre, 1850).

Mais le premier physicien qui a observé ce phénomène est l'illustre Bellani; ses expériences datent de 1808. J'aurai, un peu plus loin, l'occasion de citer encore le nom de ce savant professeur (2).

Ainsi, il nous paraît bien établi que ce phénomène est général, que la répulsion s'exerce des solides aux solides, des solides aux liquides, et des liquides aux liquides.

Si nous faisons abstraction de l'action des solides sur les solides, nous terminerons ce paragraphe comme nous l'avons commencé, en disant que tous les corps peuvent passer à l'état sphéroïdal.

§ VI. — Y a-t-il ou non contact entre les corps à l'état sphéroïdal et les surfaces sur lesquelles ils ont pris naissance?

29ᵉ *Expérience*. — Cette expérience doit être faite pendant la nuit ou dans un cabinet noir. On fait rougir une plaque d'ar-

(1) *Journal de pharmacie*, 1840, p. 779.

(2) Voy. Belli, *Corso di fisica*, t. I, p. 96; — *Giornale di fisica*, de Brugnatelli, 1808, p. 261; — et enfin le Mémoire du professeur Belli, inséré dans le *Giornale dell' I. R. Instituto Lombardo*, etc., déjà cité, p. 196 et 233.

gent sur un bon éolipyle fixé sur un pied à vis calantes; sur le milieu de cette plaque on place un cylindre creux, également d'argent, de $0^m,04$ de longueur et de 0,02 de diamètre, ayant à sa base deux ouvertures, dans le sens de son axe, de 0,003 de longueur et de 0,001 de largeur, et à égale distance l'une de l'autre, de telle sorte qu'un rayon de lumière passant par ces ouvertures passât aussi par l'axe du cylindre. L'appareil étant ainsi disposé, on verse dans le cylindre un gramme d'eau noircie par du noir de fumée; elle passe à l'état sphéroïdal; on couvre le cylindre au moyen d'un disque de métal, puis on cherche à voir par les ouvertures la flamme d'une bougie placée au niveau de la plaque, et on la voit sans interruption entre l'eau à l'état sphéroïdal et la surface du métal. (Voy. la figure.)

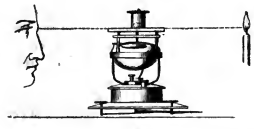


Fig. 6.

L'étincelle électrique se voit également entre le sphéroïde et la plaque.

Ce fait peut s'expliquer, en admettant, soit que le globule reste constamment à une petite distance de la paroi, soit au contraire qu'il fasse des oscillations rapides en touchant la paroi et s'en écartant. Je suis porté à croire que c'est le premier cas qui a lieu.

Si l'on verse quelques gouttes d'eau dans une capsule d'argent presque plane et rouge de feu, et si l'on en approche la flamme d'une bougie à quelques centimètres et sous un angle de 45°, on voit se former un cône de lumière dont la base se trouve à la demi-circonférence du sphéroïde, celui-ci agissant comme une lentille biconvexe.

30° *Expérience.* — On trace sur une capsule d'argent des lignes parallèles très fines et très rapprochées avec du sulfhy-

drate ammonique. Quand elles sont sèches, on verse de l'eau dans la capsule et l'on reconnaît que leur largeur et leur distance n'ont pas varié. Alors on fait chauffer la capsule après l'avoir essuyée, et l'on y projette quelques gouttes d'eau qui passent à l'état sphéroïdal; on examine les mêmes lignes au travers du sphéroïde, et l'on reconnaît qu'elles sont considérablement amplifiées, ainsi que l'intervalle qui les sépare.

31ᵉ *Expérience.* — On fait rougir une capsule d'argent légèrement emboutie, et l'on y projette quelques gouttes d'acide azotique à quelque degré de concentration que ce soit. Cet acide roule sur la capsule sans l'attaquer le moins du monde, et il est très facile, par ce procédé, de donner à l'acide azotique un degré de concentration tel qu'il est sans action sur le marbre. Je dirai ici, parce que c'est une propriété générale, que deux liquides inégalement volatils étant mêlés, c'est le plus volatil qui s'évapore le premier. C'est un excellent moyen de concentration dans certains cas, surtout quand on ne possède que de petites quantités de matière. Pour plus de sûreté, on fait ces concentrations dans des capsules inattaquables à chaud et à froid.

Si l'on fait cette expérience dans un lieu obscur, et dans une capsule n'ayant que 1 millimètre d'épaisseur, et si l'on imprime un mouvement de rotation quelconque au sphéroïde, on remarque, sans étonnement, que les parties de la capsule correspondantes à l'acide azotique sont à une température plus élevée que les autres; elles sont plus rouges, et, si on les examine avec attention après le refroidissement de la capsule, on trouve leur surface mamelonnée, ayant évidemment subi un commencement de fusion. Cette remarque prouve de nouveau, et surabondamment, que le calorique est réfléchi par les corps à l'état sphéroïdal.

L'acide azotique, quand il est employé au delà de la quantité nécessaire pour former un sphéroïde parfait, contient quelquefois des traces d'argent provenant de l'action de sa vapeur sur ce métal, laquelle remonte dans l'acide comme la vapeur d'eau dans la 12ᵉ expérience.

Mais si l'on touche un sphéroïde d'acide azotique avec une lame d'argent froide, celle-ci est attaquée avec violence; il se dé-

gage du bioxyde d'azote, etc., et il reste de l'azotate d'argent sur la lame.

Il n'est pas même nécessaire que le contact ait lieu entre la lame froide et l'acide, il suffit de la présenter à l'acide à une certaine distance, et le sphéroïde s'élance sur la lame et la dissout comme nous l'avons dit.

32[e] *Expérience.* — On remplace la capsule d'argent par une capsule de cuivre. Ce métal, rouge de feu, n'est point attaqué; mais si on laisse refroidir la capsule qui contient un sphéroïde d'acide azotique, il arrive un moment où l'acide s'étale à sa surface, et l'attaque avec une extrême violence. Le résultat de cette réaction est bien connu.

J'ai dit que l'acide azotique à l'état sphéroïdal n'attaquait pas le cuivre, et cela est vrai. Quelquefois cependant des parcelles de bioxyde de cuivre se détachent de la capsule et se dissolvent dans l'acide; mais ceci n'est qu'un accident qui ne peut pas détruire le fait principal.

33[e] *Expérience.* — L'ammoniaque à l'état sphéroïdal est sans action sur le cuivre; mais si on la touche avec du cuivre froid, et si l'on y projette une parcelle de bioxyde de cuivre, elle acquiert immédiatement la couleur bleue si connue des chimistes.

34[e] *Expérience.* — L'acide sulfurique très étendu d'eau, projeté dans une capsule de fer ou de zinc, à une température assez élevée pour qu'il prenne l'état sphéroïdal, ne l'attaque pas; mais il l'attaque violemment lorsqu'il est assez refroidi pour qu'il change d'état moléculaire, et l'on obtient un sulfate de l'un de ces métaux avec dégagement d'hydrogène.

35[e] *Expérience.* — On fait chauffer une capsule d'argent presque plane et l'on y verse une masse d'eau assez considérable pour former un ellipsoïde très aplati. D'une autre part, on a un cylindre de fer de 1 centimètre de diamètre et chauffé à blanc, on le plonge dans l'ellipsoïde, et celui-ci (le contact n'étant pas possible) forme autour du cylindre un anneau que j'ai comparé, à tort ou à raison, à l'anneau de Saturne. On sait que Maupertuis a émis l'opinion que l'anneau de Saturne était formé d'eau congelée, ce qui fut trouvé, dans le temps, très absurde.

Cette expérience réussit mieux avec un cylindre (plein) d'argent qu'avec un cylindre de fer, à cause de l'oxyde qui recouvre toujours celui-ci. Avec un cylindre d'argent et de l'eau très colorée en bleu ou en noir, les résultats de cette expérience sont aussi nets que remarquables.

Cette expérience réussit mieux encore avec une capsule d'argent dont on a relevé le fond ; on la fait rougir et l'on y verse de l'eau ou tout autre liquide. On peut former un anneau ou seulement des fractions, des arcs de cet anneau. Dans ce dernier cas, le liquide offre à l'observateur des mouvements fort singuliers et dignes de la plus sérieuse attention.

Si l'éolipyle et la capsule qu'il supporte sont placés sur un support à vis calantes, il est facile (la capsule ayant été tournée avec soin) de la placer dans une position horizontale; alors le mouvement de l'anneau et de ses plus petites fractions, c'est-à-dire des sphéroïdes, a une tendance marquée de gauche à droite.

Quand on fait ces expériences avec de l'éther ou de l'alcool qui s'enflamment tout naturellement, et que les sphéroïdes dont il s'agit se mettent en mouvement, on a sous les yeux le spectacle de petits corps à noyau transparent avec une ou plusieurs queues, d'autant plus longues que le mouvement est plus rapide.

Je dirai ma pensée sur ces faits à propos de la 61e expérience qui a beaucoup d'analogie avec celle dont on vient de lire la description. Toutefois les résultats de celle-ci sont moins tranchés, quant au mouvement, que ceux de la 61e expérience.

Mais cette expérience pourra servir, si je ne me trompe, à mesurer l'attraction des molécules d'eau entre elles, ainsi que celles d'autres liquides. En effet, quand on a mis assez d'eau ou de tout autre liquide pour former un anneau, la masse et le volume de cet anneau, par suite de l'évaporation, vont toujours en diminuant, et il arrive un moment où il se rompt tout à coup, et un grand intervalle s'établit instantanément entre les deux extrémités de ce qui reste de l'anneau. Cet intervalle varie avec la nature du liquide, et l'arc est d'autant plus grand que le liquide est moins dense.

C'est, du reste, un point qui demande à être étudié à fond et

avec soin; malheureusement il présente des difficultés de plus d'un genre.

36° *Expérience.* — On prend une capsule d'argent très épaisse (celle qui me sert est hémisphérique, elle a 0m,05 de diamètre extérieur, et elle pèse 90 grammes), on la fait rougir à blanc, puis on la saisit avec des pinces et on la remplit d'eau par un mouvement rapide exécuté à la surface d'un grand vase entièrement plein d'eau; enfin, on la pose sur un support. Toute l'eau qu'elle contient est à l'état sphéroïdal, et à la température de + 96°,5. Au bout d'un certain temps, la capsule n'est plus assez chaude pour maintenir l'eau à l'état sphéroïdal qui repasse de cet état moléculaire à l'état liquide en bouillant avec force. (Voy. la fig.)

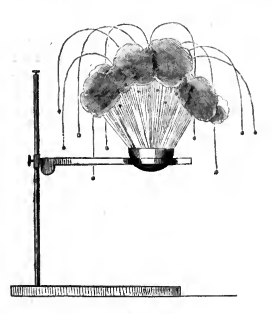


Fig. 7.

Dans cette expérience nous avons résolu ce singulier problème : *Étant donné un vase, le remplir d'eau sans qu'il soit mouillé, et la faire bouillir en refroidissant ce même vase.*

37° *Expérience.* — Tout le monde connaît l'expérience si bril-

lante de la combustion du fer dans le gaz oxygène. Tout le monde sait que les globules d'oxyde fondu traversent l'eau du flacon et vont s'incruster dans la substance même du verre. Pour expliquer ce phénomène, on dit généralement que leur température est si élevée, qu'elle l'est encore assez après avoir traversé l'eau pour pénétrer dans le verre, auquel ils font subir un commencement de fusion. La température des globules d'oxyde de fer est très élevée, c'est vrai, mais ce qui l'est aussi, c'est qu'ils traversent l'eau sans en être mouillés, et voilà pourquoi ils pénètrent dans le verre.

Si l'on faisait traverser à ces globules d'oxyde de fer une colonne d'eau plus haute, il arriverait qu'ils seraient mouillés, et l'on en serait averti par un sifflement particulier, et ils tomberaient au fond du flacon comme des grains de plomb.

38ᵉ *Expérience.* — On fait tomber une ou deux gouttes d'eau sur une planche polie et l'on cherche à les toucher avec un tube de verre fermé et rouge de feu ; l'eau s'écarte du tube qui charbonne un point de la planche, et il reste intact tant qu'il est assez chaud pour faire prendre l'état sphéroïdal à l'eau ; mais quand il ne l'est plus assez, il est *mouillé* par l'eau et il se fendille partout où le contact a eu lieu.

Je pourrais varier et multiplier ces expériences presque à l'infini ; mais celles-ci suffisent, je pense, pour établir nettement qu'il n'y a pas de contact entre les corps à l'état sphéroïdal et les surfaces sur lesquelles ils prennent naissance, et que l'intervalle qui les en sépare est mensurable et permanent.

C'est ici le lieu de rappeler les expériences du professeur Bellani. Dès l'année 1816 (1) cet illustre physicien avait constaté que les globules de verre fondu, projetés dans l'eau froide pour faire des *larmes bataviques*, restaient incandescents pendant quelque temps, sans que l'eau, du moins au commencement de l'expérience, donnât des indices d'ébullition ; il a vu encore qu'une masse de verre fondu, suspendue au bout de la canne de

(1) *Giornale di fisica di Pavia*, 1816, p. 255 e seg., et *Giornale dell' Instituto Lombardo*, 1844, p. 193.

fer dont les verriers font usage, plongée dans l'eau, se comportait comme les larmes bataviques, ne faisant entendre aucun sifflement et ne produisant dans l'eau aucun signe d'ébullition, laquelle eau demeurait tranquille, comme si l'on y eût projeté un morceau de glace (*la quale acqua rimane tranquilla come ponendovi un pezzo di ghiaccio*).

On peut faire une expérience analogue dans un cours, de la manière suivante : On prend une masse d'argent ou de platine de la forme d'un œuf et du poids de 200 grammes, on la fait rougir, et quand elle est à la plus haute température possible, on la soulève avec un crochet de fil de fer, qui passe par un petit trou ménagé à une de ses extrémités, et on l'enfonce dans un verre plein d'eau

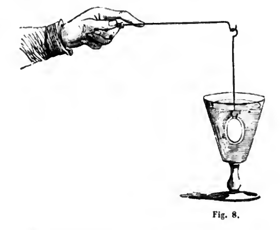


Fig. 8.

tiède, on l'agite doucement dans cette eau qui laisse un intervalle libre autour du métal (voy. fig. 8). Au bout de quelque temps, le contact a lieu, un sifflement se fait entendre, l'eau entre en ébullition, puis elle bout avec violence, et l'équilibre de chaleur s'établit entre toutes les parties de l'appareil qui se refroidit ensuite, comme dans tous les cas analogues (voy. au verso, fig. 9).

M. Grove, ayant répété cette expérience en substituant le platine à l'argent, a obtenu, par l'intensité de la chaleur, la décomposition de l'eau en ses gaz constituants. C'est là un résultat du plus grand intérêt et dont tout l'honneur revient à l'état sphéroïdal, ainsi

que le professeur Grove l'a reconnu loyalement (1). Je lui en fais publiquement mes plus sincères remercîments.

Tout le monde connaît l'expérience des forgerons qui consiste à verser quelques gouttes d'eau sur une masse de fer incandescente et à frapper le fer avec force à l'endroit où se trouve l'eau, ce qui détermine une violente détonation. Il est certain que le choc

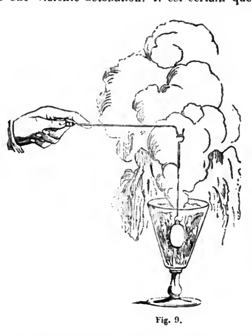


Fig. 9.

établit le contact entre le fer et l'eau ; mais à quelle cause doit-on attribuer la détonation? Elle peut être attribuée ou à la réduction subite de l'eau en vapeur, ou à sa décomposition, comme dans l'expérience de Grove, et à sa recomposition.

Quoi qu'il en soit, ce fait méritait de trouver place dans cet opuscule, et d'autant plus, qu'il a une grande importance pratique. En effet, le fer est décapé dans cette expérience, soit que l'oxyde soit enlevé mécaniquement par la vapeur, soit qu'il soit réduit par l'hydrogène de l'eau.

(1) *Philosophical Transactions*, part. I, février 1847.

Le 12 mai 1851, j'ai reçu de M. Boissenot, pharmacien à Châlon-sur-Saône, la note que voici :

« Un fait des plus curieux, qui doit prendre place parmi les » expériences de M. Boutigny (d'Évreux), vient de se produire » dans la sucrerie des Alouettes, près Châlon-sur-Saône.

» Cet établissement possède quatre turbines de MM. Rohlfs, » Seyrig et compagnie pour le clairçage des sucres bruts; pen- » dant cette opération le mouvement giratoire de ces appareils » s'élève de mille à douze cents révolutions à la minute : aussi il » arrive quelquefois qu'en raison de cette grande vitesse acquise, » leurs pivots et leurs crapaudines s'échauffent au point de déter- » miner la décomposition d'une petite partie de l'huile dans la- » quelle ils se trouvent plongés, en donnant naissance à des gaz » à odeur empyreumatique et inflammables. Lorsque ce phéno- » mène se présente, on se contente d'arrêter les turbines pour » laisser refroidir les parties qui se sont échauffées.

» Le deux avril dernier, une de ces turbines, après dix à quinze » minutes de marche, *s'arrêta tout à coup*, sans avoir donné » l'odeur empyreumatique, mais après avoir fait entendre par in- » termittence un bruit analogue à celui de la lime agissant sur » le fer. On chercha par tous les moyens à remettre cette turbine » en mouvement; mais après de vains efforts, on se décida à la dé- » monter, et l'on ne fut pas peu surpris, en retirant l'axe de la boîte » à huile, de voir la crapaudine, quoique à *surface plane*, être » adhérente au pivot dont l'extrémité est terminée en ce qu'on » appelle *goutte de suif*. Ces deux pièces, sur une surface de 3 cen- » timètres de diamètre, étaient parfaitement soudées ensemble, » un bourrelet de métal de 1 millimètre d'épaisseur régnait au- » tour du pivot; celui-ci paraissait être incrusté dans l'épaisseur » de la crapaudine. La lime n'attaqua pas le bourrelet, qui, » comme le reste, avait la dureté de l'acier trempé ; alors on cher- » cha à l'aide du marteau, puis d'une tranche à les séparer; on ne » put y parvenir, et dans la crainte de fausser l'axe en le passant » à la forge, on le mit sur le tour. La crapaudine fut enlevée avec » soin sous forme de copeaux. On fit cette remarque, que le *soudage* » *de ces deux pièces s'était opéré régulièrement jusqu'au centre.*

» Ce fait très remarquable, et peut-être unique, de soudure au » milieu d'un bain d'huile de quatre litres, entre l'*acier fondu* » de la crapaudine et l'*acier forgé* de l'axe, ne peut s'expliquer » que par l'*état sphéroïdal* qu'a dû prendre l'huile sous l'in- » fluence du suréchauffement des deux pièces pivotant l'une sur » l'autre. Il a donc fallu qu'au point de contact de l'axe et de la » crapaudine, et au moment où la rotation a commencé, il ne se soit » pas trouvé une épaisseur d'huile assez considérable, pour empê- » cher le frottement direct des métaux, et par suite s'opposer à la » production de la haute température à laquelle ils se sont élevés. » Ainsi l'huile, déjà sollicitée par la force centrifuge d'abandonner » les surfaces qu'elle devait lubrifier, s'en est éloignée en prenant » la *forme sphéroïdale*, et a laissé le pivot et la crapaudine agir l'un » sur l'autre *dans le vide* ou bien *au milieu d'une atmosphère* » *gazeuse*. Alors, une chaleur intense s'est développée et s'est élevée » au point de les rendre pâteux. L'extrémité du pivot s'étant ra- » mollie et ayant augmenté de dimension, la vitesse de la turbine » a diminué ; un abaissement de chaleur s'en est suivi, de telle » sorte que le *soudage s'est opéré instantanément ;* puis, comme la » crapaudine soudée au pivot ne pouvait tourner dans le fond de » la boîte à huile, l'appareil s'est arrêté, et lorsque le refroidisse- » ment a été assez avancé pour permettre à l'huile de revenir sur » elle-même, elle a retrempé les aciers qui s'étaient échauffés, » ainsi que ceux qui avaient éprouvé la fusion. »

Je dois à l'obligeance de M. Levol, essayeur à la monnaie de Paris, la connaissance du procédé qui suit et qui est extrait d'un Mémoire de Duhamel et Jars, 1758.

Monnaie de Zellerfeld (Hartz).

« On y a conservé une ancienne méthode de les fabriquer (les » espèces). L'argent, étant fondu dans un creuset, est versé sur une » sangle de fil (espèce de coutil) fixée par les deux extrémités à » une espèce d'arc que l'on peut tendre à volonté, à l'aide d'une vis » et d'écrous ; par la tension et la façon dont elle est attachée, elle » forme un petit rebord de chaque côté. On en a de plus ou moins

» larges, suivant la monnaie que l'on veut battre; mais on n'y coule » des lingots que depuis la plus petite pièce jusqu'aux pièces d'un » florin; celle de deux le sont dans du sable. On a attention en géné- » ral que tous ces lingots soient de beaucoup plus étroits, par con- » séquent plus épais que ne doivent être les pièces. Un ouvrier tient » cette espèce d'arc au-dessus d'une cuve pleine d'eau, il y trempe la » sangle, pendant qu'un autre y verse l'argent, lorsqu'elle est encore » mouillée. Ce premier l'agite un peu avant que le métal soit fixé, » afin qu'il se répande partout également; il le trempe ensuite dans » l'eau et le fait tomber au fond du cuveau, sans quoi il brûlerait la » sangle; on verse de nouveau, et l'on continue de la même manière. »

Il est évident que cette lingotière originale (sangle de coutil) est préservée de l'action désorganisatrice de l'argent fondu par l'état sphéroïdal de l'eau qui réfléchit le calorique rayonnant et maintient le métal à une certaine distance. (Voy. le § IV, page 27.)

J'ai pu, grâce à l'obligeance de M. Clémandot, directeur de la cristallerie de Clichy, vérifier le fait observé par Bellani, et je l'ai reconnu de la plus parfaite exactitude.

Ce fait est connu de tous les verriers, et depuis longtemps. En voici un autre qui n'est pas moins connu et qui m'a été communiqué par M. Clémandot : c'est que l'on peut manipuler, remuer dans tous les sens, et sans se brûler aucunement, une masse de verre incandescente plongée dans l'eau. J'avoue que ce n'est pas sans quelque inquiétude que j'ai répété cette expérience, en apparence dangereuse, mais, en réalité, sans aucun inconvénient pour l'expérimentateur.

M. Clémandot pense, et je suis entièrement de son avis, qu'il y a deux temps bien distincts dans cette expérience. Le premier est caractérisé par le passage de l'eau à l'état sphéroïdal, d'où l'isolement de la masse de verre en fusion. Dans le second temps, qui suit de près le premier, le verre est mouillé, sa surface, se solidifie et prend la température de l'eau ; mais comme la couche solide est transparente, la masse tout entière paraît incandescente. Le verre étant un très mauvais conducteur de la chaleur, on comprend très bien que l'on puisse le manier sous l'eau dans cet état, la main étant préservée par la couche solide qui recouvre sa surface.

Mais on ne saurait expliquer de la même manière d'autres phénomènes qui ont quelque analogie avec ceux-ci. Par exemple, passer la langue sur du fer incandescent, le prendre avec la main, courir nu-pieds sur une gueuse immédiatement après la coulée, remuer du plomb fondu avec le doigt, plonger la main dans du goudron bouillant, et tout cela, sans se brûler, sont des phénomènes fort curieux et tout à fait inexplicables, *si l'on n'a pas recours aux propriétés des corps à l'état sphéroïdal.*

On a vu dès la première page de ce livre qu'il est fait mention dans la Bible de quelque chose d'analogue à l'état sphéroïdal.

Voici un fait historique qui montre une fois de plus que les civilisations anciennes étaient peut-être aussi avancées que la nôtre, et que leurs connaissances en physique, en chimie et en histoire naturelle étaient plus étendues qu'on ne le croit généralement. Le fait dont il s'agit me paraît surtout établir que les anciens avaient des notions exactes sur l'action de la chaleur et sur les propriétés des corps à l'état sphéroïdal.

La religion de Zoroastre ayant subi de grandes altérations, un de ses pontifes, Adurabâd-Mahrasphand, offrit de subir l'épreuve du feu...... « Il proposa qu'on versât sur son corps nu dix-huit » livres de cuivre sortant de la fonte, et tout ardent, à condition » que s'il n'en était point blessé, les incrédules se rendraient à un » si grand prodige : on dit que l'épreuve se fit avec tant de suc- » cès, qu'ils furent tous convertis (1). »

Ce fait, pour moi, n'est pas douteux, et tout invraisemblable qu'il est, je le crois parfaitement vrai : *Multa credibilia falsa, multa incredibilia vera.*

On sait, en effet, que l'on peut impunément plonger le doigt et même la main dans de la fonte incandescente, pourvu qu'ils soient naturellement humides ou mouillés avec une solution saturée d'acide sulfureux contenant un peu de sel ammoniac (2); à

(1) *Dictionnaire historique*, etc., t. XXVII, p. 417.

(2) Des expériences sur la fonte ont été faites dans la fonderie de M. Davidson à la Villette; et sur le bronze, dans celle de M. Nérat, rue Pierre-Levée. Je suis heureux d'avoir l'occasion de remercier publiquement ces messieurs de leur concours bienveillant, ainsi que M. Conérat, l'un des fondeurs de M. Davidson.

la rigueur, on peut se contenter de passer son doigt dans la bouche.

M. Alph. Michel a coupé avec son doigt, sans précaution préalable, un jet de fonte incandescente s'échappant par la percée d'un willkinson.

Depuis M. Michel j'ai répété et varié ces expériences étranges, étranges surtout pour celui qui les voit ou en entend parler pour la première fois. Ainsi, j'ai plongé un doigt ou la main à plusieurs reprises dans une poche pleine de fonte incandescente, effrayante à voir ; j'ai répété cette expérience avec de l'argent, du bronze et du plomb, et le résultat a été de tout point identique : même sensation et point de brûlure, sauf ce que je dirai plus loin. En se mouillant le doigt avec de l'éther avant de le plonger dans du plomb fondu, on éprouve une sensation de froid. En se mouillant le doigt avec de l'eau, on peut le plonger impunément dans du suif à + 300°. On peut le plonger également dans de l'eau bouillante après l'avoir mouillé dans de l'éther (1).

La théorie de ces phénomènes est très simple, et elle rentre complétement dans les lois de l'état sphéroïdal. C'est l'expérience de l'œuf d'argent renversée (voy. plus haut), et les deux n'en font qu'une. Dans la première l'eau s'écarte du métal qui semble alors renfermé dans une enveloppe de cristal ; dans la seconde, c'est le métal liquide qui s'écarte de la main humide. Dans la première encore, le métal est *actif* et l'eau *passive ;* dans la deuxième, au contraire, la main humide est *active*, et le métal en fusion, *passif ;* c'est la réaction égale à l'action ; c'est enfin la plus simple des équations, savoir $ab = ba$.

Entrons un peu plus avant dans cette théorie. Nous avons la formule mct, qui donne la quantité de chaleur contenue dans un corps quelconque.

Soient : m, la masse exprimée en kilogrammes ;
c, la chaleur spécifique du corps ;
t, sa température.

(1) Voy. le Mémoire du docteur Légal (de Dieppe) ; *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1er semestre 1850).

Mais ici le facteur *m* ne doit avoir que la valeur de l'unité, parce qu'il n'y a pas de contact entre la main et le métal en fusion, et que l'expérience ne présente aucune différence, étant faite soit avec 1 kil. de fonte soit avec 1000 kilos. La sensation que l'on éprouve est la même dans l'un et l'autre cas et quel que soit le métal ; et *on le conçoit aisément, connaissant la force répulsive des surfaces incandescentes qui s'oppose au contact d'un corps quelconque.*

Le doigt ou la main se trouvent donc isolés au milieu de la masse en fusion et préservés ainsi de l'action désorganisatrice de la matière incandescente. Je le répète, le facteur *m* n'a que la valeur de l'unité.

Restent les deux facteurs *c*, *t*. Je supposerai, et c'est une approximation suffisante, que la valeur de $c = 0{,}15$, et celle de $t = 1500°$, température de la fonte en fusion; or le produit de $1500° + 0{,}15 = 225$.

Ainsi ce serait seulement en présence de 225 calories que se trouverait l'épiderme de l'expérimentateur. Assurément c'est une quantité de chaleur respectable, mais elle est trop élevée comme on va voir.

Il n'y a pas de contact entre la main et le métal, c'est un fait pour moi positivement établi. S'il n'y a pas de contact, l'échauffement ne peut avoir lieu que par voie de rayonnement, et il est énorme, il faut le reconnaître. Mais si le rayonnement est annulé par réflexion, et il l'est, c'est comme s'il n'existait pas, et, en définitive, l'opérateur se trouve placé dans des conditions normales, pour ainsi dire.

Je crois avoir établi, il y a déjà bien longtemps, que l'eau à l'état sphéroïdal a la singulière propriété de réfléchir le calorique rayonnant (1), et que sa température n'atteint jamais celle de son ébullition ; d'où il suit que le doigt ou la main, étant humides, ne peuvent s'élever jusqu'à la température de + 100°, l'expé-

(1) Voyez § IV, p. 27 et suivantes. Voyez aussi mes deux lettres à l'Académie des sciences à la date des 14 et 21 juillet 1845. On trouvera aux endroits indiqués l'explication de ce phénomène.

rience n'ayant pas assez de durée pour permettre à l'humidité de s'évaporer entièrement.

Pour me résumer sur ce point, je dirai : En passant la main dans un métal en fusion, elle s'isole, l'humidité qui la recouvre passe à l'état sphéroïdal, réfléchit le calorique rayonnant, et ne s'échauffe pas assez pour bouillir. Voilà tout.

Voici un fait remarquable bien propre à confirmer les vues théoriques qui précèdent : c'est que les parties de la main qui sont soumises à l'action du rayonnement de la surface du bain éprouvent une sensation de chaleur douloureuse suivie de rougeur à la peau ; au contraire, les parties plongées dans les bains en sortent saines et sauves.

On peut établir d'une autre manière la connexion de ces faits avec l'état sphéroïdal.

A la surface d'un bain de plomb on projette quelques gouttes d'eau qui passent à l'état sphéroïdal ; on les remplace par de l'alcool, même phénomène ; et l'alcool par de l'éther, qui passe également à l'état sphéroïdal. Or, en se mouillant le doigt avec l'un ou l'autre de ces liquides avant de le plonger dans le plomb fondu, on n'éprouvera d'autre sensation que celle de la température de l'un de ces corps à l'état sphéroïdal, température toujours inférieure, comme on sait, au point d'ébullition du corps.

Peut-être aussi la *force vitale* (1) concourt-elle à la préservation des tissus organiques vivants ; car, ainsi que je l'ai établi, il existe entre la nature vivante et la matière à l'état sphéroïdal un rapport remarquable, c'est l'invariabilité de leur température ou leur *état d'équilibre stable* par rapport au calorique (*voyez la* 73[e] *expérience* (2).

Du reste, ces sortes d'expériences ne sont pas toujours sans danger. Par exemple, si l'on plongeait le doigt dans un métal en fusion au moment de sa solidification, il pourrait arriver qu'il y

(1) Qu'est-ce que la force vitale?

(2) Voy. aussi mes deux Mémoires dans les *Annales de chimie et de physique*, septembre 1849 et février 1850, et dans le *Journal de pharmacie et de chimie*, juillet et décembre 1849.

restât engagé ou qu'une petite quantité de métal s'y attachât; dans l'un et l'autre cas on se brûlerait profondément.

M. Despretz et M. Desdouit ont reconnu l'exactitude de toutes ces expériences sur les métaux en fusion. M. Desdouit les a répétées dans de la fonte avec une hardiesse dont j'étais grandement effrayé (1).

MM. A. Perrey, professeur de physique à Dijon, Légal, médecin à Dieppe, et Come, professeur de physique à Laval, ont également vérifié tous ces faits. M. Come a varié les expériences de façon à ne laisser aucun doute dans l'esprit tant sur les faits que sur la théorie que j'en ai donnée et qu'il adopte sans réserve (2).

Voici quelques mots extraits du mémoire de ce savant. Tout le monde les lira avec intérêt. « M. Covlet ayant pris l'initiative, » nous avons coupé les jets de fonte avec les doigts, nous avons » plongé les mains dans les moules et dans les creusets remplis » de la fonte qui venait de couler d'un wilkinson, et dont le » rayonnement était insupportable même à une assez grande » distance. Nous avons varié les expériences pendant plus de » deux heures. Madame Covlet, qui y assistait, permit à sa fille, » enfant de huit à dix ans, de mettre la main dans un creuset » plein de fonte incandescente. Cet essai fut fait impunément..... » Dans la fonte chacun de nous a encore éprouvé une sensation » de froid en se servant d'acide sulfureux. »

Le docteur Légal, de son côté, a ajouté des faits nouveaux, fort curieux, à ceux qui précèdent. Ainsi, par exemple, il a constaté qu'on se brûlait profondément en plongeant le doigt dans de l'essence de térébenthine en ébullition (+ 156°, Liebig), qu'il en était autrement dans la même essence à l'état sphéroïdal, et que, dans ces derniers cas, la chaleur était tout à fait supportable. (Voyez ses *diverses communications à l'Académie*, dans les *Comptes rendus*, 1er semestre, 1850).

Ainsi, à dix ans d'intervalle, il m'a été donné de faire de la glace dans un fourneau chauffé à blanc, et de me baigner impunément

(1) Voyez l'*Univers* du 7 janvier 1850.

(2) Voyez son Mémoire dans les *Comptes rendus de l'Académie*, 1er semestre 1850.

dans de la fonte incandescente, et cela, en vertu des lois qui régissent la matière à l'état sphéroïdal. Qu'on nie maintenant, si l'on veut, l'importance majeure qu'il y aurait à étudier à fond la matière à l'état sphéroïdal ; qu'on nie, si l'on veut, le rôle que cet état moléculaire est appelé à jouer tôt ou tard dans la science, je m'en inquiète peu ; ce n'est plus qu'une question de temps ou d'avenir : mais cet avenir, qui ne nous appartient pas, jugera peut-être avec sévérité ceux de mes compatriotes qui suppriment dans les mémoires des savants étrangers, avant de les imprimer en France, les passages favorables à mes recherches de prédilection. C'est là une de ces...... actions qui suffisent pour ternir l'éclat des plus brillantes réputations scientifiques (1).

J'ai dit plus haut qu'on trouvait des traces de l'état sphéroïdal dans la Bible. Le fait que j'ai rapporté sur Adurabâd-Mahrasphand (et j'aurais pu en ajouter beaucoup d'autres) ne semble-t-il pas établir que l'antiquité avait des connaissances plus étendues que nous ne le pensons sur la chaleur ? Elle ignorait peut-être les petites choses de cette dynamide, comme, par exemple, les centièmes de degré centigrade, mais elle en connaissait certainement les grands effets. Il ressort encore de cette note qu'un certain nombre de faits historiques considérés comme fabuleux peuvent être vrais, et que nos ancêtres savaient probablement beaucoup de choses que nous ne savons plus. Un peu plus de respect pour eux, un peu moins d'admiration pour nous, ne serait pas mal (2).

(1) Voyez le Mémoire que j'ai eu l'honneur d'adresser à l'Académie, le 2 octobre 1848.

C'est d'un mémoire de Grove qu'il s'agit ici, et qui a pour titre : *On Certain Phenomena of Voltaic Ignition and the Decomposition of Water into its Constituent Gases by Heat.* Ce mémoire a été traduit par M. Louyet, et voici le passage qui en a été retranché en France : « Cependant, pour en revenir » à des considérations plus importantes, l'état sphéroïdal qui a, depuis peu, » attiré l'attention des savants, paraît avoir la connexion la plus intime avec » ces phénomènes, et, par là, l'intérêt qui s'y rattache est de beaucoup » augmenté. » (*Bulletin du Musée de l'industrie belge*, 4e livr., 1847.)

(2) Sous le titre de : *Études historiques sur les développements de la société humaine*, M. le docteur Kœnigswarter a publié dans la *Revue de législation et de jurisprudence*, janvier 1850, une série d'articles fort remarquables,

Je terminerai en rappelant cette analogie remarquable et inattendue qui existe entre la molécule vivante et la molécule à l'état sphéroïdal : c'est la fixité de la température, quelle que soit d'ailleurs la variation de celle du milieu ambiant.

Ainsi l'homme peut vivre dans des milieux qui varient de — 30° à + 40° sans que sa température propre en soit affectée. On sait que l'homme peut même supporter pendant quelque temps les températures extrêmes de — 60° et de + 150°, la sienne propre restant fixe ; on sait que l'habitant des pôles, que celui des climats fortunés des tropiques ou des climats brûlants de la ligne ont la même température, ou que, si elle varie, ce n'est que dans des limites très étroites.

Cela posé, qu'on prenne une goutte d'eau et qu'on la projette dans une capsule chauffée à + 142°, cette eau prendra immédiatement la température de + 98°, et elle y restera, la capsule étant portée à toutes les températures imaginables au-dessus du minimum que je viens d'indiquer (+ 142°).

Cet état d'équilibre stable des corps à l'état sphéroïdal, quant à la chaleur, entrera un jour, du moins je l'espère, dans l'explication de l'un des plus grands mystères de la création....., la création même, si Dieu a permis à l'esprit de l'homme de pénétrer dans les profondeurs de ce mystère impénétrable jusqu'ici.

On comprend tout d'abord qu'un fluide dont la température est invariable, quelles que soient les variations de température des corps qui l'environnent, est un fluide éminemment propre à l'incubation. Ce dernier mot dit toute ma pensée sans la développer (1).

M. Mulot, dont le puits de Grenelle a immortalisé le nom, a vu, dans plusieurs circonstances, des masses d'acier d'un gros

dans lesquels il traite longuement et savamment des épreuves judiciaires ou *ordalies* chez tous les peuples et à toutes les époques de leur histoire. Les épreuves par le fer rouge, l'eau bouillante, etc., reviennent souvent sous la plume de l'auteur, qui ne doute pas de leur réalité, ni du succès avec lequel ces épreuves ont été subies dans beaucoup de cas.

(1) Cette hypothèse est reproduite dans la troisième partie de cet ouvrage. Il est bon de rappeler les idées que l'on croit vraies.

volume ne pouvoir pas être trempées, ne pouvoir pas acquérir la dureté que l'on parvient à donner à des pièces d'un plus petit volume. Évidemment il y a là encore un phénomène de répulsion entre l'acier et l'eau, un phénomène de non-contact.

La solution du problème posé en tête de ce paragraphe est de la plus grande importance; mais elle présente des difficultés de plus d'un genre, aussi n'ai-je pas la prétention de l'avoir résolue complétement. Toutefois l'expérience 30ᵉ et la 35ᵉ me paraissent décisives et bien propres à résoudre la question dans le sens d'un intervalle permanent entre le sphéroïde et la capsule.

Une expérience de MM. de Kramer et Belli corrobore ma manière de voir sur ce point. Ces deux professeurs ont établi qu'un courant électrique ne passait pas entre la capsule et le sphéroïde, et ils en ont conclu qu'il était très probable qu'il n'y avait pas de contact et que l'intervalle était permanent.

Peltier avait reconnu, avant les physiciens italiens, que le courant électrique ne passait pas. Voici ce que ce savant m'écrivait à la date du 10 février 1844 : «... Il est certain que le courant » ne passe pas pendant tout le temps que l'eau est à l'état sphé- » roïdal ; il commence à passer au moment des décrépitations, et » passe tout à fait lorsque l'eau, ayant cessé d'être en sphéroïde, » mouille la capsule. Ce commencement de propagation élec- » trique, à l'instant des décrépitations, prouve de nouveau que » cet effet est le produit d'un mouillage partiel, d'une vapori- » sation partielle à haute tension, etc., comme je l'ai dit dans » mes Mémoires. »

Berzelius est aussi d'avis qu'il n'y a pas de contact ; mais, pour ce savant, l'expérience qui se fait avec la capsule de cuivre et l'acide azotique est l'expérience capitale. « Cette expérience » prouve ce que, du reste, l'état sphéroïdal suppose *à priori*, que » le point du sphéroïde le plus rapproché du support ne s'en ap- » proche pas autant qu'à une basse température, et qu'il est main- » tenu à une distance plus considérable que le rayon d'action de » l'action chimique. » (*Rapport annuel sur les progrès de la chimie*, Paris, 1845.)

En réfléchissant sur tous ces phénomènes, on est presque forcé d'admettre qu'une force inconnue, qui neutralise l'attraction de la terre, tient les corps à l'état sphéroïdal à une certaine distance de la surface qui les fait naître. Cette force paraît être la résultante de la répulsion dont le calorique serait la cause apparente, et d'une attraction moléculaire qui ferait naître dans les sphéroïdes une force qu'on ne saurait comparer qu'à la pesanteur à laquelle elle ferait équilibre. En un mot, *les sphéroïdes de nos laboratoires* (j'ose à peine le dire) *seraient tout simplement des satellites de la terre,* auxquels les lois newtoniennes seraient applicables : ce qui nous conduirait à dire que les propriétés des infiniment petits sont les mêmes que celles des infiniment grands.

Ce qui vient à l'appui de l'opinion que nous venons d'émettre sur les sphéroïdes que nous étudions, c'est que leur volume est proportionnel à leur densité et en raison inverse de cette densité; d'où il suit que tous les sphéroïdes doivent être égaux dans leurs masses, et c'est en effet ce qui est. Mais je n'entrerai pas plus avant dans cette discussion, qui trouvera naturellement sa place dans la troisième partie de cet ouvrage.

Voici le récit d'un événement bien malheureux qui montre que le phénomène qui nous occupe peut s'accomplir sur une grande échelle, et qu'il a dû jouer un rôle important à la surface et à l'intérieur de notre globe. Nous voyons, en effet, une certaine quantité d'eau faire explosion après un certain temps d'immersion d'une masse considérable de lave en fusion.

Eruption de l'Etna.

«... La lave s'était amoncelée dans un bas-fond où il se trouvait de l'eau, et elle y avait formé un monticule fort élevé auprès duquel s'étaient rassemblés un grand nombre de curieux et beaucoup d'ouvriers occuper à couper du bois, quand tout à coup la vapeur produite par l'ébullition de l'eau et les gaz comprimés dans l'intérieur de cette masse de lave ont fait explosion. Plus de soixante personnes ont été brûlées ou tuées par les vapeurs brûlantes et corrosives, ainsi que par les éclats de lave encore rouge,

lancés à la distance de plus de cent cinquante mètres. Des voitures, des chevaux, des mulets, qui avaient été amenés par des voyageurs. se sont trouvés sans maîtres, et il a été impossible, ni de compter les morts, ni de savoir quels ils étaient, la plupart étant restés ensevelis sous les sables brûlants, les laves et les débris lancés par l'explosion (1). »

Chaudières à vapeur.

§ VII. — L'état sphéroïdal de l'eau joue-t-il un rôle quelconque dans les explosions dites fulminantes des chaudières à vapeur?

La vapeur, employée comme force motrice, offre tant de ressources et rend de si grands services à l'industrie, que l'on oublie volontiers ses inconvénients, et, dans certains cas, ses dangers. Mais cet oubli ne va pas jusqu'à faire méconnaître une des vérités aujourd'hui les mieux établies : c'est l'inutilité des moyens employés jusqu'à ce jour pour empêcher certaines explosions des chaudières à vapeur. S'il restait encore dans quelques esprits des doutes à cet égard, il suffirait, pour les dissiper sans retour, de rappeler l'explosion du *Butterfly* sur la Delaware, explosion telle, que le paquebot fut entièrement détruit, et que l'on n'eût jamais su ce qu'il était devenu sans des membres et des lambeaux de cadavres épars çà et là sur les rives du fleuve. Cette épouvantable catastrophe, qui coûta la vie à vingt-trois passagers et à tout l'équipage, s'accomplit entre Darby et Philadelphie, au mois d'août 1839.

Au mois de janvier 1841, une autre catastrophe jetait l'épouvante parmi les habitants des rives de la Saône. C'était le *Citis*, qui sautait en l'air à son premier voyage, et qui tuait neuf personnes et en blessait grièvement six autres.

En 1842, c'est le *Riverain* qui fait explosion sur la Loire. Quarante-deux personnes sont victimes de ce terrible événement : celles qui n'ont pas été tuées sont horriblement défigurées. C'est

(1) Voy. le *Siècle* du 31 décembre 1843.

le *Télégraphe* qui détone sur les côtes d'Angleterre, et avec tant de violence, qu'on aurait cru entendre une batterie de canons. Le bateau a été mis en pièces ; treize passagers ont été tués et un très grand nombre blessés.

Le *Mohican*, remorquant le trois-mâts anglais *Edward-Thorn* et le *Star*, a fait explosion sur le Mississipi. Quatorze personnes ont perdu la vie dans cet événement, et le *Mohican* a pris feu immédiatement après l'explosion (1).

« Le 19 septembre 1843, le bateau à vapeur *Clipper*, faisant la navigation entre Bayousara et la Nouvelle-Orléans, au moment où il quittait le wharf, a fait explosion en faisant éclater ses chaudières. Toute la machine, de grands débris de chaudières, d'énormes fragments de bois, une multitude d'autres objets, parmi lesquels plusieurs êtres humains, mutilés à différents degrés, ont été lancés dans les airs.

» En atteignant sa plus grande hauteur, cette éruption a été projetée comme les jets d'une fontaine, dans plusieurs directions, et est retombée sur la terre, sur les toits des maisons et jusqu'à deux cent cinquante yards de distance du lieu du sinistre. Les malheureuses victimes ont été brûlées, écrasées, déchirées, mutilées et dispersées de toutes parts : les unes dans la rivière, les autres dans les rues, d'autres sur l'autre rive du Bayou, à près de trois cents yards.

» Quelques corps ont été coupés en deux par des morceaux de bois, et d'autres lancés comme des boulets de canon contre les murailles des maisons. Toute la partie des édifices environnants semble avoir été ravagée par un tourbillon. Mais il est inutile d'essayer de rendre l'idée de cette scène de ruine et de destruction. Ce qui reste de la carcasse a été brisé en éclats.

» Le lieu du désastre offre le plus lugubre spectacle qu'on ait jamais vu ; les planches des deux chambres sont littéralement jonchées de morts et de mourants ; ceux que l'on transporte profèrent des prières, des gémissements, des imprécations, et présenteut l'aspect de toutes les contorsions humaines. L'équipage consistait en quarante-trois hommes, il y avait cinq passagers.

(1) Voy. les journaux de Rouen du 1er semestre 1842.

» Un très petit nombre, dont fait partie le capitaine, a été sauvé; les pertes jusqu'ici connues s'élèvent à vingt-neuf, mais il manque encore plusieurs personnes dont les traces n'ont pas été retrouvées (1). »

« Un déplorable événement est arrivé le 8 mai, sur la Saône, à la hauteur de Neuville. La chaudière du paquebot *le Lazaret*, faisant le service de Lyon à Mâcon, a éclaté et donné la mort au mécanicien et à deux chauffeurs; un autre a été grièvement blessé. Il n'y avait heureusement que fort peu de passagers, et à cause de la chaleur, ils s'étaient éloignés de la machine (2). »

« Un événement malheureux est arrivé à Rio-Janeiro, le 25 mai : la chaudière de l'un des petits steamers de fer qui font le service entre cette ville et Rio-Grande a éclaté, et plus de quarante personnes ont perdu la vie par suite de l'explosion (3). »

« La *Gipsy Queen*, après avoir fait un voyage d'essai à Woolwich, a fait explosion. Sept personnes ont perdu la vie par suite de cet événement, et cinq autres sont dans un état désespéré; c'est-à-dire, que toutes les personnes qui étaient à bord de ce steamer ont été victimes de l'explosion de sa chaudière (4). »

En 1847, dans l'espace d'un mois, quatre explosions de chaudières ont eu lieu à Roubaix, à Honfleur, à Paris, rue Neuve-Coquenard, et à la Villette, rue Saint-Denis. Le chauffeur de celle-ci a été lancé à plus de 150 mètres du lieu de l'explosion; trois autres personnes ont été tuées sur le coup, et un grand nombre de blessés ont été transportés à l'hôpital Saint-Louis ou à leur domicile. La chaudière, lancée à plus de 15 mètres, a brisé le volant en plusieurs fragments, et fait écrouler les murs et le toit.

Le dommage matériel est évalué à 100,000 francs.

Il est à remarquer que la chaudière de la rue Neuve-Coquenard était de la force de 3 chevaux, et celle de la Villette de la force de 5 à 6 chevaux (5).

(1) Voy. le *Siècle* du 29 octobre 1843.
(2) Voy. le *Constitutionnel* du 12 mai 1844.
(3) Voy. le *Constitutionnel* du 24 juillet 1844.
(4) Voy. le *Constitutionnel* du 16 novembre 1844.
(5) Voy. le *Constitutionnel* du 9 mai 1847.

Le 2 août de la même année, une chaudière du *Comte d'Eu* s'est déchirée à la hauteur de Barfleur, et vingt hommes ont été victimes de ce terrible accident; sept sont morts immédiatement, six autres ont succombé à la suite de leurs blessures; les sept derniers ont guéri.

Le *Comte d'Eu* était tout neuf; il se rendait à Cherbourg pour être visité et reçu par une commission spéciale (1).

Dans le même mois, le yacht de la reine Victoria a fait explosion; il en a été de même du *Cricket*, sur la Tamise, et du *Glamorgan* allant de Bristol à Weston-Supermare et à Minehead avec cinq cents personnes à bord.

Cette année (1855), un certain nombre d'explosions de générateurs sont venues ajouter leur funèbre contingent à la liste trop nombreuse des victimes de cet agent merveilleux et terrible qu'on nomme la vapeur....; en Angleterre, dans le royaume de Naples, en France, à Paris, à Rouen ....

Le journal *la Science*, du 5 août 1855, publie les détails suivants sur l'explosion qui a eu lieu à Rouen :

« La manufacture de M. Fauquet-Lemaître est de toute nouvelle construction et fonctionne depuis un an à peine. Près de trois cents ouvriers étaient occupés dans ce tissage, dont les machines avaient pour moteur une pompe à feu alimentée par quatre chaudières.

» L'explosion a eu lieu vers cinq heures et demie du soir; elle s'est annoncée par une effroyable détonation qui a porté l'épouvante dans les environs. A l'instant, tous les métiers du tissage se sont arrêtés, et les ouvriers et ouvrières, sous le coup de la frayeur, se sont précipités dans les cours de l'établissement, au milieu du plus grand désordre.

» Là, un horrible spectacle de destruction vint augmenter encore leur effroi : la vapeur d'eau qui emplissait l'espace, la poussière des murs de briques renversés, la crainte de nouvelles explosions, et, plus encore que tout cela, les cris des mourants, jetèrent les témoins de cette horrible scène dans une stupeur qui, tout d'abord, vint redoubler la confusion générale.

(1) Voy. le *Constitutionnel* du 5 août 1847.

» La cause première du désastre avait été la rupture des parois d'un bouilleur de l'une des chaudières en activité. Cette chaudière, d'un poids énorme et d'une longueur de plus de 5 mètres, soulevée par une force irrésistible, s'était dressée presque debout, brisant la maçonnerie qui la retenait, renversant le mur latéral, enlevant la toiture, et projetant sa vapeur brûlante à plus de cent pas à l'extérieur; puis, retombant aussitôt avec un fracas épouvantable sur les trois autres chaudières qui lui étaient parallèles, elle avait brisé les soupapes de la seconde chaudière en activité, et de nouveaux jets de vapeur s'étaient précipités immédiatement dans toutes les directions, et poursuivaient les seize victimes renversées et brûlées déjà au milieu des débris.

» Dès que l'on put se rendre compte de la nature du sinistre, les personnes les moins frappées d'épouvante se précipitèrent au secours des malheureux si cruellement atteints. Bientôt arrivèrent du dehors des citoyens dévoués, et l'on put retirer des décombres brûlants les infortunés qui respiraient encore. L'asphyxie semblait avoir paralysé le sentiment chez plusieurs des victimes; mais quelques-unes poussaient des cris de douleur et se débattaient dans d'horribles souffrances.

» Un jeune homme, entre autres, s'élança vers une petite cour située derrière une maison d'habitation des employés de la manufacture. Au bout de quelque temps, on entendit des gémissements; on le trouva tout nu, se tordant sur le sol: il avait eu la force d'ôter ses vêtements, mais il n'avait pu calmer les douleurs de sa poitrine brûlée. »

On lit dans le *Siècle* du jeudi 16 et vendredi 17 août 1855 :
» Samedi dernier, la chaudière d'une machine à vapeur apparte-
» nant aux ateliers de MM. Wood, de Sheffield, à Londres, a fait
» explosion avec un bruit épouvantable. Deux hommes, les nommés
» Hill et Broughton, ont perdu la vie. Telle a été la force de l'ex-
» plosion, que les débris de la chaudière ont été lancés par-dessus
» Blonk-Street jusque dans la rivière. *L'appareil était neuf.* On
» suppose que c'est le manque d'eau qui l'a fait éclater. »

Ce petit nombre de faits, qu'il serait facile de multiplier en fai-

sant quelques recherches dans les journaux, suffit, nous le pensons du moins, pour porter la conviction dans tous les esprits. On peut donc le répéter, les moyens employés jusqu'ici pour prévenir ces redoutables effets de la vapeur ont été souvent inutiles. Pourquoi? Parce que la cause de ces explosions est restée jusqu'à ce jour enveloppée d'une obscurité profonde. Mais le public commence à se préoccuper vivement du défaut de sûreté de la navigation à la vapeur, disons plus, des dangers que présente trop souvent ce moyen de transport, possédant d'ailleurs d'incontestables avantages. Il y a donc là une de ces grandes questions dont la solution fait époque dans les annales des sciences et de l'industrie.

Il résulte évidemment de ces sinistres, que les moyens employés jusqu'ici pour empêcher l'explosion des chaudières à vapeur sont tout à fait impuissants, et qu'il existe une cause d'explosion restée jusqu'à ce jour inconnue. Tout le monde est d'accord sur ce dernier point.

La théorie des chaudières à vapeur est surtout basée sur deux principes fondamentaux, à savoir : l'équilibre de chaleur et l'équilibre de tension. Malheureusement, ces deux principes souffrent tant d'exceptions, qu'il n'est point irrationnel de les considérer eux-mêmes comme des exceptions.

Trois théories ont été produites depuis quelques années sur la cause de l'explosion des chaudières à vapeur. (Il ne s'agit point ici de la cause qui naît de l'excès de tension de la vapeur; mais de la cause occulte, inconnue, qui met en défaut toutes les précautions prises dans le but de prévenir ces redoutables phénomènes qui brisent et renversent tout ce qui leur fait obstacle.)

Quelques physiciens ont pensé que l'électricité jouait un rôle important dans ces terribles explosions; d'autres les ont attribuées a la décomposition et à la recomposition de l'eau; enfin, il en est qui ont cherché à les expliquer par un changement d'état de l'eau, par son passage subit de l'*état sphéroïdal* à l'état de vapeur : nous sommes de ces derniers.

Examinons rapidement ces trois théories.

Nier la mise en jeu de l'électricité dans les chaudières à vapeur, serait nier l'évidence; trop d'observations ont mis ce fait hors de doute.

Mais les partisans de cette théorie sont-ils parvenus à faire faire explosion à des chaudières au moyen de l'électricité? Nous ne le pensons pas. Elle ne peut donc être considérée que comme une hypothèse ingénieuse. Passons à la seconde théorie.

L'expérience nous apprend que le fer, à la température rouge, décompose l'eau, et que l'hydrogène réduit l'oxyde de fer précisément à la même température. Ce fait est inexplicable, mais c'est un fait, et, comme tel, il faut bien l'admettre. Toutefois la recomposition de l'eau par la réduction de l'oxyde de fer s'opère lentement, et ce n'est point ainsi que l'explosion d'une chaudière peut être occasionnée par la combustion de l'hydrogène. Il faut donc qu'il arrive dans la chaudière une masse d'air suffisante pour que deux volumes d'hydrogène trouvent à se combiner avec un volume d'oxygène. Ce résultat est-il possible? La pompe alimentaire peut-elle verser de l'air au lieu d'eau dans la chaudière? Quelques mécaniciens fort habiles disent oui; mais d'autres, non moins habiles, disent non. La question reste donc indécise. Et puis est-il bien sûr qu'un mélange détonant, mêlé à de la vapeur d'eau nécessairement très dense, puisse détoner? Peut-on supposer d'ailleurs que la température de la chaudière serait assez élevée pour enflammer le mélange détonant? Cela n'est pas probable. Il reste, il est vrai, l'étincelle électrique, et, à cet égard, il n'y a pas d'objection à faire.

Mais les partisans de cette théorie sont-ils parvenus à faire éclater une chaudière en décomposant la vapeur d'eau dans cette chaudière, et en y faisant arriver un courant d'air atmosphérique? Nous ne le pensons pas. Elle ne peut donc être considérée, comme la première théorie, que comme une hypothèse ingénieuse.

Faisons remarquer, avant de terminer cette discussion rapide, qu'il est très probable que la décomposition de l'eau dans une chaudière à vapeur ne peut se faire qu'*en dehors des lois de l'équilibre de chaleur*; car personne n'admettra sans doute qu'une chaudière rouge de feu puisse résister à une quantité quelconque

d'eau qui serait à la même température. Examinons maintenant la troisième théorie, et qui est basée sur les lois de l'*état sphéroïdal*.

Ici les faits parlent, et ils parlent haut.

Si l'on met de l'eau dans une chaudière d'essai, et qu'on la soumette à l'action d'une haute température, l'eau ne tardera pas à bouillir avec force et à donner des torrents de vapeur; si l'alimentation est négligée par une cause quelconque, et que la chaudière vienne à rougir, l'eau que l'on y introduira alors possédera des propriétés nouvelles: *elle ne mouillera pas les parois de la chaudière, elle ne pourra pas s'échauffer au delà de* 98°, *et ne donnera conséquemment que très peu de vapeur*. (On a remarqué, à bord du *Citis*, que la vapeur sortait à très basse pression un instant avant l'explosion.) Mais si l'on vient à éteindre les feux ou à diminuer leur intensité; ou bien si l'on introduit tout à coup une grande masse d'eau froide dans la chaudière, dans l'un et l'autre cas l'eau s'étalera sur les parois de la chaudière, les mouillera et se réduira instantanément en vapeur, et sa tension, dans le plus grand nombre des circonstances, pourra être égale à MILLE ATMOSPHÈRES!! Ceci admis, il est facile de comprendre que les soupapes dites de sûreté, les rondelles fusibles, etc., sont inutiles contre le développement subit de cette puissance formidable.

Cependant, il faut le reconnaître, il reste encore des doutes sur cette cause comme sur les autres causes d'explosion des chaudières à vapeur, et ces doutes ne peuvent être dissipés que par des expériences nombreuses et variées.

A l'œuvre donc! il y a place pour tout le monde. A l'œuvre donc! car il ne s'agit point ici d'intérêts privés, ni d'intérêts de caste ou de localité; mais bien des intérêts de l'humanité tout entière, qui se demande ce qu'elle doit craindre ou espérer de la vapeur, cette invincible puissance qui ne lui avait promis que des bienfaits et qui sème partout la dévastation et la mort (1).

(1) M. Jobard, de Bruxelles, avait eu l'heureuse idée de provoquer des expériences sur une grande échelle, ayant pour but la découverte des véritables causes d'explosion des chaudières. J'ignore si ce projet a été mis à exécution.

Avant de pénétrer plus avant dans cette question, qu'il me soit permis de réparer un oubli tout à fait involontaire de ma part, oubli commis d'ailleurs par *toutes les personnes* qui ont fait des recherches sur la cause d'explosion des chaudières dont il s'agit ici.

Depuis dix ans il a été adressé à l'Académie un grand nombre de mémoires, de lettres, de notes sur la cause des explosions fulminantes des chaudières à vapeur, et personne, que je sache, n'a cité le nom de M. Dumas, et jamais M. Dumas n'a pris la parole pour revendiquer la découverte de cette cause. Cependant c'est à cet illustre chimiste que l'on doit la véritable théorie de ces explosions terribles, théorie qu'il a formulée, *il y a une trentaine d'années*, d'une manière si nette, si claire et si précise, que toutes les expériences faites depuis ce temps semblent avoir été entreprises en vue de confirmer cette théorie.

Voici comment M. Dumas s'exprime : « Quoi qu'il en soit, le » fait est incontestable. Il doit mettre en garde contre les dangers » que présenterait une chaudière à vapeur portée accidentellement » à une température très élevée, car il pourrait arriver qu'elle » cessât de fournir de la vapeur, et que pourtant un abaissement » de température en déterminât l'explosion. Les plaques de métal » fusible sont surtout utiles contre ce genre de danger, puisqu'elles » limitent la température que l'appareil peut acquérir; car il est » évident qu'une soupape ne serait plus soulevée au moment où » ce phénomène singulier se manifesterait.

» Ce genre d'accident doit être rare avec les chaudières ordi- » naires, mais il pourrait devenir très fréquent si l'emploi des » tubes générateurs devenait plus commun. Ces tubes ne conte- » nant que de petites quantités d'eau, et étant portés habituelle- » ment à une température assez élevée, il serait aisé d'atteindre » le point nécessaire à la production du phénomène qui nous » occupe. » (Dumas, *Traité de chimie appliquée aux arts*, t. I, page 32.)

Le silence de M. Dumas, dans une question de cette importance, est caractéristique aujourd'hui qu'on se dispute jusqu'à l'espérance. Je suis heureux de faire connaître ce trait de désin-

téressement et d'abnégation, trop rare dans tous les temps et peut-être sans exemple dans celui-ci.

Je ne m'occuperai, dans cet ouvrage, que d'une cause d'explosion, celle qui naît de l'état sphéroïdal de l'eau, les autres causes d'explosion ayant été analysées et étudiées avec le plus grand soin par des ingénieurs et des physiciens du plus grand mérite.

Je n'envisagerai cette question que sous le rapport pratique, et je ferai soigneusement abstraction de toute théorie de l'état sphéroïdal.

Cette cause d'explosion serait depuis longtemps l'objet de l'étude des ingénieurs et des physiciens, si l'on avait reconnu plustôt :

1° Que l'eau peut passer à l'état sphéroïdal en grandes masses;

2° Que ce phénomène peut se produire à la température de + 171°;

3° Que l'équilibre de chaleur ne s'établit jamais entre l'eau à l'état sphéroïdal et la chaudière, et que cet équilibre existe constamment entre la vapeur fournie par le sphéroïde et la chaudière dans laquelle il a pris naissance. Mais des expériences étant indispensables pour mettre ces faits en relief, je vais en décrire quelques-unes qui montreront que je n'ai rien avancé qui ne fût exact et vrai.

39e *Expérience.* — On prend une capsule hémisphérique de 0,05 à 0,10 de diamètre; on y verse quelques grammes d'eau, et on la soumet à l'action de la chaleur d'une bonne lampe à alcool à double courant d'air. La capsule s'échauffe et transmet la chaleur à l'eau qui entre en ébullition à + 100°. Arrivée à cette température, la capsule ne s'échauffe plus et toute la chaleur devient latente dans la vapeur. On sait que l'équilibre de chaleur est la loi du phénomène que je viens de décrire rapidement, c'est-à-dire que contenant et contenu sont constamment à la même température.

Lorsque l'ebullition est tumultueuse et qu'il reste peu d'eau dans la capsule, des gouttes d'eau sont lancées en l'air, et retombent à l'état sphéroïdal sur le fond de la capsule. Alors, si l'on verse de l'eau, *même bouillante*, dans la capsule, elle ne bout

plus, et sa température ne s'élève pas au delà de + 96°,5 à 98°, tandis que celle de la capsule peut s'élever indéfiniment. C'est là un des plus curieux phénomènes qui se puissent voir, et qui suffirait seul pour modifier profondément les théories de la chaleur; mais j'ai dit que je laisserais la théorie de côté. Il est presque superflu d'ajouter que la loi d'équilibre de chaleur n'est point applicable à ce cas particulier, et qu'un peu plus tôt ou un peu plus tard, il faudra bien tenir compte de ce défaut d'équilibre.

Les choses étant dans cet état, si l'on verse tout à coup une grande masse d'eau (quelques grammes), elle s'étale dans la capsule, et s'évapore presque instantanément; ou bien si, au lieu de verser de l'eau en grandes masses, on éteint la lampe, la capsule, en se refroidissant, perd la force répulsive; l'eau repasse à l'état liquide ordinaire, et s'évapore en faisant explosion. Dans ces deux cas l'équilibre de chaleur reparaît.

40e *Expérience.* — Au lieu d'une capsule de 0m,05 à 0m,10, on en prend une de 0m,50 et d'une certaine épaisseur; on la fait rougir et l'on y verse doucement depuis 0lit.,50 jusqu'à 2 litres et même 3 litres d'eau. Un mouvement tumultueux, qui ressemble à l'ébullition, a lieu dans la masse du liquide, et un thermomètre que l'on y plonge indique la température de + 96° à + 98°. L'évaporation est très lente, et l'eau est projetée de toutes parts en gouttes plus ou moins volumineuses. Verse-t-on une plus grande masse d'eau dans la capsule en la faisant toujours tomber sur le même point, alors un phénomène particulier de réfraction annonce que l'eau *mouille* la capsule, ce dont on serait d'ailleurs averti par les torrents de vapeur qui se dégagent de la masse d'eau. Maintenant, qu'on décuple, qu'on centuple la capacité de la capsule qui vient de servir, et l'on arrive aux proportions des chaudières à vapeur, et leur explosion s'explique avec une merveilleuse facilité.

41e *Expérience.* — On verse 15 à 20 grammes d'eau distillée dans une capsule d'argent presque plane et rouge de feu; on y fait arriver un filet d'eau froide par un des points de la circonférence de la capsule, et l'on observe ce qui se passe: le sphéroïde s'étale du côté où l'eau arrive, mouille la capsule et bout

vivement; tandis que l'autre portion du sphéroïde conserve sa forme, ne mouille pas la capsule et ne bout pas. En cet état, si l'on chauffe fortement la capsule, toute la masse d'eau repasse à l'état sphéroïdal; et le contraire a lieu si l'on refroidit la capsule; c'est-à-dire que l'eau s'étale, mouille la capsule et bout fortement.

Jusqu'ici nous ne voyons passer l'eau à l'état sphéroïdal que dans des vases chauffés préalablement; mais nous n'avons pas vu ce phénomène se produire dans des vases, dans des chaudières contenant de l'eau avant d'être soumis à l'action de la chaleur. C'était là un des points importants de la question que nous étudions, et sur lequel il était utile, indispensable même d'être bien fixé. C'est dans ce but que les deux expériences suivantes ont été entreprises.

42e *Expérience.* — On prend une auge de cuivre, comme celle qui a servi dans la 13e expérience, mais moitié moins longue; on y verse une certaine quantité d'eau distillée, et telle qu'étant inclinée, une partie du fond de cette chaudière soit à découvert. On la place en cet état sur un bon éolipyle, et voici ce qui se passe: L'eau entre rapidement en ébullition, mais la partie de la chaudière qui n'est pas baignée parvient à une température beaucoup plus élevée que celle de la partie qui est baignée (contrairement à la théorie de l'équilibre du calorique); si alors on fait basculer la chaudière, l'eau, en arrivant sur la partie très chaude, passe à l'état sphéroïdal et reste indéfiniment sous cet état moléculaire, et celle que l'on y verse ensuite participe aux propriétés de la première, jusqu'à ce que de nouvelles conditions (le refroidissement, par exemple) fassent repasser à l'état liquide toute l'eau contenue dans la chaudière.

Il est facile de comprendre comment le résultat que nous venons d'obtenir pourrait se reproduire sur une grande échelle à bord d'un bateau à vapeur, par l'effet du tangage, du roulis et de la bande, quand le navire reçoit le vent en travers; par le passage de tous les passagers, à bord des petits steamers, tantôt à l'avant, tantôt à l'arrière, soit à tribord, soit à bâbord.

Le docteur Normandy admet la possibilité de ce fait sur la plus grande échelle; il dit:

1. *That the heating of surfaces previous to the introduction of water is not necessary to produce the spheroidal state.*

2. *That many boiler explosions may be referable to that condition.*

3. *That all boilers which offer an extensive surface to the heat, that is to say, all boilers with internal flues, are preeminently liable to explosions from this cause.*

Earthy deposits in all kinds of boilers are favourable to the production of this dangerous phænomenon (1).

L'expérience qui suit justifie pleinement la manière de voir du docteur Normandy ; elle a été publiée pour la première fois dans la deuxième édition de cet ouvrage (1847).

43e *Expérience.* — L'expérience qui précède doit faire réfléchir les personnes qui s'occupent de la théorie des chaudières à vapeur ; celle-ci doit les effrayer.

On délaie dans de l'eau une petite quantité du résidu insoluble de la préparation du valérianate de zinc (2) ; on verse le tout dans une capsule soit de cuivre, soit d'argent, etc., et on la place sur un bon feu de charbon. L'eau ne tarde pas à entrer en ébullition, et au fur et à mesure de son évaporation, il se dépose sur la paroi de la capsule une couche blanchâtre que l'eau n'a pas la propriété de mouiller, et il arrive un moment où le liquide s'isole entièrement du vase et cesse de bouillir. Les eaux savonneuses mêlées aux eaux très calcaires produisent un effet analogue.

L'observation des faits curieux qu'on vient de lire appartient à mon fils.

Ne peut-on pas se demander, à propos de ces faits, si l'addition des pommes de terre, du carbonate de soude, de l'argile plastique, etc., dans le but de s'opposer aux incrustations, est tout à fait sans danger ? Quant à nous, nous pensons que l'intro-

(1) Letter to Doctor Tyndall, *On the Spheroidal State of Water in Steam Boilers*, by doctor Normandy (*Philosophical Magazine*, for april 1854).

Il y a un mot dans la lettre du docteur Normandy qui ferait supposer que j'ai ignoré les travaux de Perkins. C'est une erreur ; car je me suis fait un devoir de citer plusieurs fois le nom de cet ingénieur, et j'ai indiqué le numéro des *Annales de chimie* où se trouve son mémoire.

(2) Je dois cette matière à l'obligeance de M. Guillemette. C'est une sorte de savon qui n'a point encore été étudié, mais qui mérite de l'être.

duction de ces substances dans les chaudières peut avoir des inconvénients et même des dangers.

44ᵉ *Expérience.* — On verse 2 grammes d'eau distillée dans une chaudière d'essai sphérique, munie d'une soupape, et on la place sur la flamme d'une lampe à alcool à double courant d'air ; on retire la lampe aussitôt que l'eau est en ébullition, et l'on bouche fortement la chaudière. Rien d'extraordinaire ne se manifeste : la vapeur d'eau se condense, il se fait du vide dans l'appareil, et le bouchon est attiré avec une certaine force vers l'intérieur de la chaudière. Tout cela pouvait être prévu d'avance.

45ᵉ *Expérience.* — On fait chauffer le fond de la chaudière presque au rouge, et l'on y projette 2 grammes d'eau distillée au moyen d'une pipette ; on bouche fortement, puis on éteint la lampe. Quelques instants après, un léger bruissement se fait en-

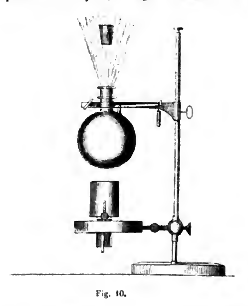


Fig. 10.

tendre : c'est l'eau qui passe de l'état sphéroïdal à l'état liquide. L'instant qui suit ce bruit est signalé par une violente explosion, et le bouchon, s'il n'est pas attaché, est lancé en l'air avec beaucoup de force. Ce phénomène s'explique facilement : l'eau, en

passant de l'état sphéroïdal à l'état liquide, mouille le fond de la chaudière, et se réduit instantanément en vapeur; d'où l'explosion et la projection du bouchon. (Voy. figure 10.)

46ᵉ *Expérience.* — La même que la précédente ; seulement on remplace le bouchon par un autre bouchon, au travers duquel passe un tube terminé à l'extérieur par une ouverture de $\frac{1}{2}$ millimètre de diamètre, par laquelle sort un petit jet de vapeur qui ne paraît pas avoir de tension, tant elle est rare; mais aussitôt que l'eau passe à l'état liquide, on aperçoit un jet de vapeur d'une grande vitesse qui sort par l'extrémité du tube, et le bouchon est lancé en l'air presque aussitôt, et avec autant de violence que dans l'expérience précédente. (Voy. fig. 11.)

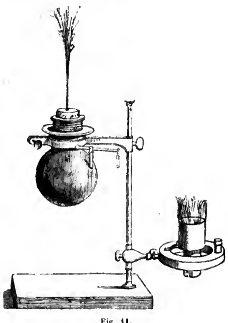


Fig. 11.

Ici la petite ouverture du tube représente une soupape, bonne pour les cas ordinaires, mais qui ne peut pas suffire à l'écoulement d'une grande masse de vapeurs, et l'explosion est la suite nécessaire de ce défaut d'écoulement. Mais si l'on remplace ce tube par

un autre tube ayant l'ouverture extérieure de 3 ou 4 millimètres de diamètre, l'explosion n'a pas lieu, parce que la vapeur peut s'écouler presque aussi rapidement qu'elle est formée. Il faut remarquer dans cette circonstance qu'une ouverture de 3 ou 4 millimètres est une ouverture d'une très grande dimension, eu égard à la quantité d'eau (2 grammes) qui peut être réduite instantanément en vapeur.

47e *Expérience.* — On a vu dans les expériences qui précèdent l'eau passer de l'état sphéroïdal à l'état liquide par la soustraction du foyer de chaleur, ou, ce qui revient au même, par le refroidissement de la chaudière. On va voir le même phénomène se reproduire dans cette expérience par l'addition de l'eau froide.

On fait chauffer le fond de l'instrument comme dans les autres expériences, on y projette 2 grammes d'eau distillée, on laisse la lampe sous l'appareil, auquel on adapte un bouchon percé de deux trous donnant passage, l'un à un tube en S, dont la branche ascendante doit être longue de 0,40 environ, l'autre à un tube terminé par une ouverture capillaire. L'appareil étant ainsi disposé, on verse de l'eau froide par le tube en S, et l'on observe l'extrémité du tube capillaire. Aussitôt qu'une certaine quantité d'eau a pénétré dans l'appareil, un jet rapide de vapeur s'élance par l'ouverture capillaire, le bouchon est projeté en l'air avec violence, et les tubes sont réduits en très petits fragments.

Cette expérience est dangereuse, mais elle cesse de l'être si l'on remplace le tube capillaire par un tube de 3 ou 4 millimètres d'ouverture extérieure. Alors l'explosion est remplacée par un jet continu de vapeur.

Cette expérience peut être faite sans danger pour l'expérimentateur en adaptant une pompe foulante à la chaudière au moyen de laquelle on injecte de l'eau froide. Une soupape se fermant de bas en haut empêche la vapeur de faire remonter le piston de la pompe.

48e *Expérience.* — On verse dans la chaudière 2 grammes d'eau distillée, et on la bouche avec un bouchon enchaîné. On place la chaudière sur la lampe, et l'on surveille les mouvements du bouchon ; bientôt on le voit lancé avec force par l'élasticité

de la vapeur. On l'enfonce de nouveau dans l'orifice de la chaudière, d'où il est repoussé par la même force; on l'enfonce une seconde fois, puis une troisième et dernière, car il est rare d'obtenir plus de trois détonations avec cette quantité d'eau. Mais il est facile de comprendre que ce nombre de détonations pourrait être dépassé ou diminué, suivant le plus ou moins de capacité de la chaudière, le diamètre de son orifice, la justesse du bouchon, etc., etc.

49ᵉ *Expérience.* — On fait chauffer la chaudière, et lorsqu'elle est au rouge sombre, on y projette 2 grammes d'eau distillée, et on la bouche avec le même bouchon enchaîné que celui qui a été employé dans l'expérience précédente. Le bouchon saute; on le replace, et il saute encore, et cela jusqu'à douze, treize et quatorze fois. L'intervalle entre chaque détonation varie de 8 à 12 secondes.

Il y a dans cette expérience tout un nouveau système de chaudières à vapeur fondé sur le défaut d'équilibre de chaleur et de tension; mais de grandes difficultés devront être vaincues avant que ce système passe dans la pratique.

C'est des expériences qui précèdent que j'ai tiré ces conséquences audacieuses : *L'équilibre du calorique et l'équilibre de tension n'existent pas pour les corps à l'état sphéroïdal.* Voici comment je crois avoir mis hors de doute la vérité de ces deux propositions.

50ᵉ *Expérience.* — On prend une capsule de fonte de 0ᵐ,12 de diamètre environ et on la fait rougir; on y projette 100 à 150 grammes d'eau distillée, qui passe immédiatement à l'état sphéroïdal, ou plutôt à l'état ellipsoïdal. On plonge au milieu de l'ellipsoïde la boule d'un thermomètre, et l'on observe la marche de la colonne de mercure qui oscille entre + 96° et + 98°, mais qui reste stationnaire à + 96°,5 lorsque l'ellipsoïde n'est point agité par un courant de vapeur qui le traverse. Ainsi on a, d'une part, la température de + 96°,5, de l'autre celle de 700 à 800 degrés : évidemment il n'y a point d'équilibre de chaleur.

Je sais bien qu'en opérant comme on vient de le faire, on n'est pas complétement à l'abri des chances d'erreur; mais la possibi-

lité d'une erreur de 1 degré et même de plusieurs degrés, en présence d'un fait aussi capital, ne devait point m'arrêter. (*Voy. la* 12ᵉ *expérience.*)

51ᵉ *Expérience.* — On fait rougir la chaudière et l'on y verse 5 à 10 grammes d'eau distillée; puis on y plonge un thermomètre, de telle manière qu'il ne puisse pas toucher le sphéroïde, mais qu'il en approche le plus près possible.

On voit alors la colonne de mercure monter rapidement depuis la température ambiante jusqu'à je ne sais combien de degrés, car un thermomètre qui était gradué jusqu'à + 300° s'est brisé par suite de la dilatation du mercure au delà de ce terme.

On m'objectera que c'est au rayonnement du vase que cette température est due; mais cela ne peut pas être, car rien ne s'oppose à ce que cette vapeur se mette en équilibre avec les parois du vase, et c'est en effet ce qui a lieu, ainsi que cela va être démontré dans un instant.

Dans cette expérience, comme dans celles qui précèdent, point d'équilibre de chaleur, point d'équilibre de tension. (*Voy. la* 19ᵉ *expérience.*)

52ᵉ *Expérience.* — Reprenons l'expérience précédente au moment où le thermomètre marque 200 degrés ; versons assez d'eau froide dans le vase pour faire passer l'eau à l'état liquide, et observons la colonne de mercure. Aussitôt que l'eau a cessé d'être à l'état sphéroïdal, elle bout vivement : la capacité de la chaudière se remplit de vapeur, et le thermomètre descend tout à coup à + 100°. Pourquoi ce résultat ? Parce que l'eau, en cessant d'être à l'état sphéroïdal, rentre et fait rentrer tout l'appareil sous les lois de l'équilibre de chaleur.

Il a été dit plus haut que la vapeur des corps à l'état sphéroïdal prenait la température du vase qui la contenait. Prouvons qu'il en est ainsi.

On se rappelle l'expérience 49ᵉ, dans laquelle on obtient douze ou quatorze détonations avec une quantité d'eau donnée, tandis que la même quantité d'eau à l'état liquide n'en peut donner que trois ou quatre tout au plus ; on se rappelle encore que l'eau à

l'état sphéroïdal ne donne que des vapeurs très rares (46e expérience), et enfin que l'eau dans le même état moléculaire est constamment à la température de + 96°,5. Or, si l'eau à l'état sphéroïdal ne donne que des vapeurs très rares, et que néanmoins on obtienne un effet dynamique triple de celui qu'elle donne à l'état liquide, étant soumise à l'action d'une chaleur égale dans les deux cas, il faut admettre de toute nécessité que le défaut de vapeur est compensé par la grande élévation de sa température. On sait, en effet, que la tension de la vapeur n'est point proportionnelle à la température, mais on sait aussi qu'elle est d'autant plus grande que la température est plus élevée.

La tension de la vapeur, en négligeant les fractions, à :

+ 100° =	1	atmosphère.
+ 265° =	50	—
+ 311° =	100	—
+ 516° =	1000	—

Voici une dernière expérience qui n'est pas moins concluante que celles qui viennent d'être décrites.

53e *Expérience.* — Même préparation que pour la 49e expérience. Aussitôt que l'on a versé, l'eau on baisse la mèche de la lampe, ce qui occasionne un abaissement dans la température de la chaudière; on la ferme au moyen du bouchon enchaîné, et l'on note le temps qui s'écoule entre chaque détonation : il est de 1m 10s, 1m 15s et jusqu'à 1m 40s, et il est rare d'obtenir plus de trois ou quatre détonations. Et cela doit être : ici la température *en moins* doit être remplacée par de la vapeur *en plus*. Ce qui est fort remarquable, c'est que l'on obtient à peu près le même effet dynamique que dans la 48e expérience. Je n'ai pas besoin d'ajouter, je pense, que dans cette expérience (la 53e) l'eau ne cesse pas d'être à l'état sphéroïdal. Cela prouve, en outre, qu'il peut arriver que l'eau soit à l'état sphéroïdal dans les chaudières, à l'insu des chauffeurs; car les machines peuvent fonctionner comme avec de l'eau à l'état liquide ordinaire, et sans que rien puisse faire soupçonner cet état anormal, sauf pourtant le niveau de l'eau et deux thermomètres plongeant, l'un dans l'eau, l'autre dans la vapeur. Il va sans dire que des thermomètres de verre

ne sauraient être employés dans les chaudières à vapeur, exposées à taut de secousses; mais je pense que les appareils de MM. Clément, Collardeau, Gally-Cazalat, etc., atteindraient parfaitement le but, en indiquant constamment et la température de l'eau et celle de la vapeur. Une grande différence entre les deux températures serait l'indice d'un péril imminent.

L'expérience qui vient d'être décrite montre encore que la température indiquée dans la 51ᵉ expérience est bien celle de la vapeur, et que le rayonnement des parois de la chaudière est à peu près sans action sur le thermomètre. Il serait d'ailleurs très possible que la réflexion du calorique que nous avons signalée dans le paragraphe IV de cet ouvrage se fît par l'atmosphère des sphéroïdes; et s'il en était ainsi, le rayonnement serait nul et sans influence possible sur la marche du thermomètre. Mais on conçoit aisément que la vapeur ne peut s'échauffer que par les parois du vase, soit par contact, soit par voie de rayonnement.

Si la température indiquée par cet instrument était due au rayonnement et non à la vapeur, la tension de celle-ci serait en rapport avec la température de l'eau que nous savons être à + 96°,5 sous la pression normale de l'atmosphère, et cette tension serait inférieure à 1 atmosphère. Les 49ᵉ et 53ᵉ expériences, rapprochées et comparées entre elles, montrent clairement que la tension dans la 49ᵉ est énorme, et faible dans la 53ᵉ. Dans la première, *peu* de vapeur, mais *beaucoup* de chaleur; dans la deuxième, *beaucoup* de vapeur, mais *peu* de chaleur.

En d'autres termes, dans la 48ᵉ et la 53ᵉ expérience, on opère avec de la vapeur à basse température et à basse pression, et dans la 49ᵉ avec de la *vapeur surchauffée.*

Je m'explique.

Dans la 49ᵉ expérience, il y a peu de vapeur et beaucoup de chaleur, c'est-à-dire peu de chaleur latente ou *statique*, et beaucoup de chaleur sensible ou *dynamique;* et dans les 48ᵉ et 53ᵉ expériences, beaucoup de vapeur ou de *chaleur statique*, et peu de *chaleur dynamique.*

Ces résultats sont la confirmation des vues du célèbre Montgolfier, confirmées également par les savantes recherches des

Séguin, des Joule, des Hirn, des Mayer, des Regnault, des Thomson, etc., etc.

Qu'il me soit permis d'ajouter que les expériences qui précèdent ne datent pas d'un jour, car elles ont été publiées en 1846 (1).

Aujourd'hui qu'il est bien établi, par ces expériences et beaucoup d'autres, que la chaleur n'est que du mouvement, je pense que l'on adoptera sans difficulté les mots chaleur *statique* au lieu de chaleur *latente*, et chaleur *dynamique* au lieu de chaleur *sensible*.

Loin de moi la pensée de méconnaître l'importance des travaux que beaucoup de physiciens ont entrepris sur la chaleur, mais combien de ces travaux ont été inspirés par mes recherches! Dieu me garde toutefois d'élever ici une misérable question de priorité! mais travaillant pour l'avenir, je puis me permettre de léguer à l'avenir le soin de mettre en lumière toutes les vues contenues dans ce modeste ouvrage..., vues qui se développeront, je l'espère, avec le temps, vues qui grandiront surtout, *quando io sarò passato tra i più*.

On sait que depuis quelques années l'emploi de la vapeur surchauffée est très répandu, soit comme source de calories, soit comme source de dynamics; et j'ajoute qu'il se répandra de plus en plus, car si la vapeur à + 100° coûte cher, la vapeur surchauffée et à haute tension est comparativement à très bas prix, et c'est à peine si l'on doit noter la dépense de charbon pour élever la vapeur de *une* à *cinq* atmosphères.

Les expériences qui précèdent ont été répétées presque toutes en présence du congrès scientifique de Milan, et sur une grande échelle. Je dirai bientôt l'opinion du professeur Belli sur ma théorie des explosions de chaudières à vapeur (2).

(1) *Nouvelle branche de physique, ou Études sur les corps à l'état sphéroïdal*, p. 50 et suivantes.

(2) J'ai déjà dit l'accueil plein de bienveillance et de cordialité qui m'a été fait à Milan. Je me fais un devoir d'offrir ici mes sincères remercîments au comte L. Bertozzi, un des élèves les plus distingués de M. de Kramer. Pendant plus de quinze jours il n'a été occupé, pour ainsi dire, que de mes expériences, et j'ai trouvé réunis chez ce jeune chimiste une obligeance inaltérable, une grande habileté et un profond savoir. Je fais des



Examinons maintenant dans quels cas l'eau peut passer à l'état sphéroïdal dans les chaudières à vapeur, et comment elle peut être la cause de leur explosion.

Lorsque les issues de la vapeur sont fermées, ce qui arrive dans un grand nombre de circonstances, la température ne cesse point pour cela de s'élever; et s'il est vrai de dire que l'eau est toujours soumise à l'empire des lois de la chaleur, il est vrai de dire aussi qu'elle est sur la limite de cet empire, et que la plus petite cause peut l'en faire sortir, ainsi qu'on va le voir. Lorsqu'une chaudière se trouve dans les conditions que je viens de dire, l'eau qu'elle contient est soumise à l'action de deux forces qui se neutralisent réciproquement : la pression exercée par la vapeur à la surface de l'eau, et la force répulsive de la chaudière qui agit en dessous. Vient-on à ouvrir un robinet en plein et tout d'un coup (1), la vapeur s'élance rapidement par cette ouverture;

vœux bien sincères pour qu'il obtienne les succès auxquels son mérite lui permet de prétendre.

(1) Rien n'est plus dangereux que d'ouvrir *brutalement* un robinet d'émission de vapeur, surtout quand la pression est très élevée. Les auteurs qui ont écrit sur cette matière n'ont pas suffisamment insisté sur ce point.

Il faut en excepter toutefois M. R. Armstrong, qui s'exprime ainsi : « Bearing in mind what is said on the subject of surcharged steam, and the » peculiar liability there is of boilers exploding exactly at the moment or » soon after the valve is opened for starting an engine, there is reason to » believe that many explosions may be accounted for by a *coincidence* of two » or more distinct causes. — One of them always being *the sudden opening* » *of the safety or other valve....* (a). »

Il suffit de se rappeler, pour comprendre le danger d'ouvrir brusquement, en entier, un robinet d'émission, que le plus grand nombre d'explosions des chaudières fixes a lieu après déjeuner, c'est-à-dire au moment de la mise en marche, ou le soir, à la fin de la journée, quand on perd la vapeur; et, à bord des steamers, au moment du départ, ou, après un temps d'arrêt, au moment de la mise en route, au commandement de *Go a head*, ou *En avant.* C'est pourquoi le levier des clefs des robinets ne peut jamais être trop long, et il serait préférable de les remplacer par des disques ou des valves soulevées au moyen de vis d'appel.

On se demande comment les explosions ne sont pas aussi fréquentes au début de la journée qu'aux autres temps? C'est que le matin il n'y a pas, il ne peut guère y avoir de surchauffe.

(a) *A Rudimentary Treatise on Steam Boilers; their Construction and Practical Management*, by Robert Armstrong, 1850, p. 128.

il se fait du vide, et l'eau, repoussée par le fond de la chaudière, et *attirée* en quelque sorte par le vide qui s'est formé presque instantanément, se trouve projetée à la partie supérieure de la chaudière. Mais tout cela ne dure qu'un instant; l'eau, obéissant aux lois de la pesanteur, retombe sur le fond de la chaudière et passe à l'état sphéroïdal (expérience 39e). Alors elle fournit peu de vapeur, l'équilibre de chaleur n'existe plus, l'explosion est imminente, et elle peut se faire de deux manières : 1° par l'addition d'une certaine quantité d'eau froide (expériences 40e et 47e); 2° par l'extinction des feux (expériences 41e, 45e et 46e).

53e *Expérience* (*bis*). — Voici une expérience qui doit trouver sa place ici ; elle est de M. Melsens, qui m'a fait l'honneur de me la communiquer.

On prend une marmite de fonte bien propre et graissée dans tout son pourtour avec de la cire ou du suif, puis on y met une couche de mercure assez épaisse pour couvrir la boule d'un petit thermomètre ; enfin l'on y verse de l'eau distillée et on chauffe. Le thermomètre s'élève graduellement jusqu'à + 100°, puis il continue de s'élever jusqu'à 130° et même plus, celle de l'eau restant toujours à + 100°.

On voit dans cette expérience que l'équilibre de température fait défaut, et l'on en peut conclure que la température d'une chaudière pourrait s'élever suffisamment dans certaines circonstances pour que l'eau s'en isolât et passât à l'état sphéroïdal. Telle est l'opinion de M. Melsens, qui est aussi la mienne.

L'eau peut encore passer à l'état sphéroïdal dans les chaudières à vapeur lorsqu'elles viennent à manquer d'eau, ce qui peut avoir lieu par la négligence du mécanicien, ou par un accident survenu à la pompe alimentaire, etc.; alors l'eau qui arrive dans la chaudière passe à l'état sphéroïdal, et l'explosion se fait ensuite, comme cela a été décrit rapidement plus haut.

La théorie des explosions que je viens d'esquisser rapidement sera sans doute admise par les personnes qui se rappelleront les 42e, 43e et 53e (*bis*) expériences, car elles sont très concluantes. Ici l'eau peut passer à l'état sphéroïdal avec d'autant plus de facilité, que l'eau versée dans la chaudière par la pompe alimentaire

est presque toujours à une température voisine de + 100°. En effet, cette eau, n'ayant point à emprunter de calorique à la chaudière, se trouve dans les meilleures conditions pour passer à l'état sphéroïdal sans la refroidir. Il est vrai que la vitesse avec laquelle elle est projetée pourrait déterminer le contact, et il en serait probablement ainsi avec une colonne d'eau froide qui viendrait, sans se diviser, frapper le fond de la chaudière, mais non avec une colonne d'eau chaude divisée par les plus petites résistances, soit de l'orifice du tuyau de la pompe alimentaire, soit de l'atmosphère de la chaudière.

Dans la 40e expérience nous voyons une colonne d'eau froide versée à dessein mouiller la capsule, mais on obtient difficilement ce résultat. Dans la 57e expérience, au contraire, nous voyons de l'eau tombée du haut du Panthéon ou des hauteurs de l'atmosphère passer à l'état sphéroïdal avec la plus grande facilité.

Mais pour bien concevoir l'explosion des chaudières à vapeur par suite de l'état sphéroïdal de l'eau, il faut se bien pénétrer de ces deux vérités capitales, savoir : que l'équilibre de chaleur n'existe pas entre le sphéroïde et la chaudière, tandis que cet équilibre existe entre la vapeur et cette même chaudière. Ceci posé, il devient très facile d'expliquer ces épouvantables explosions auxquelles rien ne résiste, et auxquelles, il faut le dire, rien ne saurait résister.

Supposons une chaudière de la capacité de 100 litres ; admettons qu'il n'y ait dans cette chaudière que 10 litres d'eau à l'état sphéroïdal ; admettons encore que la température de la chaudière soit à 600 ou 700 degrés, et celle de l'eau à + 96°,5 (expériences 40e et 50e). Maintenant, que l'on fasse arriver dans cette chaudière une masse d'eau assez considérable pour détruire l'état sphéroïdal de celle qui s'y trouve (expériences 40e, 41e et 47e), et il se formera immédiatement au moins 17,000 litres de vapeur qui se mettront en équilibre de chaleur avec la chaudière, ce qui pourra porter sa tension à un degré vraiment effrayant. Est-il besoin de répéter que rien ne saurait résister à une pareille force ? je ne le pense pas. La rupture de la chaudière aurait également lieu si l'eau changeait d'état par suite d'un lé-

ger refroidissement de la chaudière (expériences 45ᵉ et 46ᵉ). Si l'on ajoute à cette cause d'explosion la décomposition de la vapeur d'eau qui se fait toujours dans les chaudières de fer qui contiennent de l'eau à l'état sphéroïdal, et seulement dans ce cas-là, on pourra se faire une juste idée de ces épouvantables explosions qui sèment partout le deuil et la ruine.

Je n'admets pas toutefois que la recomposition de l'eau puisse avoir lieu dans l'intérieur de la chaudière, ainsi que le suppose M. Jobard ; mais j'admets, et tout le monde l'admettra avec moi, que la résistance de la chaudière diminue par suite de son oxydation aux dépens de l'oxygène de l'eau.

Le savant directeur du Musée de l'industrie belge n'a pas abandonné sa théorie, mais il l'a modifiée, et, cette fois, elle a de grandes chances d'être adoptée.

Laissons parler M. Jobard :

« Les explosions foudroyantes sont assez fréquentes en Belgique et très rares en Prusse ; nous dirons à quoi cela tient. Quand le suçoir de la pompe alimentaire cesse d'amener de l'eau, par un accident quelconque, elle donne de l'air ; l'eau baisse, les flancs de la chaudière rougissent, et sur ces flancs vient se coller, comme un emplâtre, l'espèce de crème formée des détritus végétaux et animaux qui surnagent toujours sur l'eau des chaudières après un certain temps de service.

» On comprend que ces substances, en contact avec les surfaces brûlantes de la chaudière, se décomposent comme du charbon dans une cornue, et qu'il se produit du gaz hydrogène, tandis que la pompe injecte de l'oxygène et prépare le mélange détonant connu sous le nom de *grisou*. La décomposition achevée, le charbon qui reste devient incandescent, pyrophorique et scintillant, ce qui met le feu à ce grisou comprimé et chauffé, qui constitue certainement le plus violent des pyroxyles détonants ; ses effets doivent donc être bien supérieurs à ceux que produit l'explosion déjà si terrible du grisou à l'air libre. La chaudière, remplie de poudre, n'approcherait pas de la puissance développée dans l'explosion du Vieux-Valeffe, dont nous avons décrit les ravages (1). »

(1) Voyez *la Science* du 28 mai 1856.

Il faut tenir compte aussi, dans ces explosions, du choc qui se produit quelquefois lorsque l'eau change d'état moléculaire. On sait qu'une bouteille qui résiste à une pression graduée de 10 atmosphères et plus, ne résiste pas à une larme batavique qui éclate dans son intérieur, étant pleine d'eau. (Bellani et Séguier.)

Du reste, la théorie des explosions fulminantes des chaudières à vapeur par suite de l'état sphéroïdal de l'eau est maintenant généralement admise; quelques ingénieurs même pensent que c'est la seule cause des explosions dites fulminantes des chaudières à vapeur (1).

Abordons maintenant un autre côté de la question, celui d'empêcher l'état sphéroïdal de naître.

L'état sphéroïdal de l'eau étant une des causes d'explosion des chaudières, comment l'empêcher de naître? Ici, je l'avoue, je n'ai que des conjectures à présenter. Il est certain qu'avec une surveillance active, incessante, de bons flotteurs, des soupapes

(1) La Commission de surveillance des chaudières à vapeur de Dieppe, composée de MM. Aribaut, Mercadier, Leclerc, Lefebvre et Légal, a proposé à M. le ministre de la marine de faire faire une série d'expériences destinées à résoudre cet important problème.

Voici un extrait du rapport de cette Commission, en date du 22 septembre 1853 :

....

« La Commission s'est donc demandé à quelle cause il convenait de rap-
» porter la plupart des explosions des chaudières à vapeur. Cette cause est un
» phénomène dont l'épouvantable puissance égale l'instantanéité, et, suivant
» la Commission, elle ne doit être cherchée que dans l'état sphéroïdal de l'eau
» contenue dans la chaudière. L'eau parvenue à cet état, si par une circon-
» stance quelconque elle est ramenée instantanément à l'état liquide, il se
» détermine alors une production de vapeur tellement immense, et à un
» degré de tension si élevé, que l'explosion s'ensuit nécessairement. Dans
» cette conviction, la Commission a cru de son devoir de signaler à l'attention
» du gouvernement l'hypothèse qui précède, et elle émet le vœu que le gou-
» vernement veuille bien ordonner une série d'expériences ayant pour but de
» rechercher si, en effet, telle n'est pas la cause unique, en général, des
» explosions, et quels seraient les moyens réellement efficaces pour en pré-
» venir la production.

» Toutes les résolutions et opinions qui précèdent ont été prises à l'una-
» nimité des membres présents, etc. »

(Suivent les signatures.)

sifflantes, etc., et surtout des pompes alimentaires fonctionnant toujours bien, on parviendrait, dans la plupart des cas, à prévenir toute espèce d'explosions. Malheureusement il ne saurait en être ainsi. Il faut donc chercher un moyen d'empêcher l'état sphéroïdal de l'eau; mais, ainsi que je l'ai dit, je n'ai que des conjectures à présenter sur ce point.

J'ai remarqué dès l'origine (1836) de mes recherches sur l'état sphéroïdal des corps, que le poli des surfaces exerçait une grande influence sur ce phénomène, et l'idée m'est venue tout naturellement de hérisser de pointes le fond des chaudières. J'ai remarqué aussi que les eaux contenant des sels en dissolution passaient moins facilement à l'état sphéroïdal que celles qui n'en contenaient pas, et l'idée m'est venue tout naturellement encore de faire dissoudre un sel quelconque dans l'eau, et de préférence un sel déliquescent, comme le chlorure de calcium; mais les pointes et les sels n'empêchent pas absolument l'eau de passer à l'état sphéroïdal.

D'un autre côté, les pointes fixées sur le fond d'une chaudière avaient des inconvénients et en rendaient le nettoyage difficile et presque périlleux. Alors j'ai imaginé de mettre dans les chaudières des spirales de fer mobiles ou des prismes à quatre faces, disposés de telle sorte qu'un sommet des angles fût toujours perpendiculaire à la surface sur laquelle ils se seraient trouvés. Cette dernière disposition me paraît bonne; elle mérite, je crois, d'être essayée. Il devient indispensable aussi d'essayer d'un autre mode de chauffage des chaudières; le chauffage en dessous pourrait être remplacé par un chauffage latéral. Si je suis bien informé, il a été déjà construit plusieurs chaudières d'après ce dernier système, et elles ont parfaitement fonctionné jusqu'à ce jour.

L'eau étant à l'état sphéroïdal, comment empêcher l'explosion de la chaudière?

Si ce cas-là se présente en pleine mer, et qu'il faille lutter contre les vents et les courants, ou contre un bâtiment ennemi, il faut continuer à marcher comme dans l'expérience 49°, en ayant le plus grand soin de faire grand feu, et de n'introduire

dans la chaudière qu'une petite quantité d'eau à la fois. Si, au contraire, ce phénomène se manifeste à terre ou sur un fleuve, on arrête la machine, on continue de faire grand feu, et l'on s'empresse de vider la chaudière par tous les moyens dont on peut disposer; ensuite on la laisse refroidir; après quoi, on établit un courant d'air dans la chaudière pour en chasser le gaz hydrogène qu'elle contient presque toujours.

Lorsque des faits nouveaux nous forcent à expliquer certains phénomènes autrement qu'on ne l'a fait jusqu'au moment de leur apparition, on ne doit pas craindre de répéter plusieurs fois la même chose, en d'autres termes et sous d'autres formes. Ce qui n'a pas été compris tout d'abord, peut l'être plus tard lorsque l'esprit y est déjà disposé par une lecture antérieure, et c'est ce qui me détermine à reproduire ici presque en entier la discussion qui se trouvait dans la première édition de cet ouvrage.

Si l'on recherchait avec soin quel est le nombre des personnes mutilées ou tuées par suite de l'explosion des machines à vapeur, tant sur terre qu'à bord des paquebots, on obtiendrait un résultat bien fait assurément pour jeter la terreur dans les âmes, même les plus fortement trempées (1).

Cependant, cela est incontestable, les ingénieurs de tous les pays du monde constituent les classes les plus et les mieux éclairées de la société; et jamais, cela est incontestable aussi, l'art du constructeur ne fut porté plus loin qu'il ne l'est aujourd'hui. Personne assurément n'ignore la rare perfection et le fini des machines admirables qui sortent des ateliers des mécaniciens de notre époque. Personne, non plus, n'ignore avec quel soin et quelle habileté le fer est travaillé et corroyé, et combien de précautions sont prises pour éviter, dans la construction des chaudières, l'emploi des fers et des fontes de mauvaise qualité.

Mais, malgré toutes ces attentions, les explosions sont aussi fréquentes aujourd'hui, proportion gardée, qu'elles l'étaient il y a cinq ans, il y a dix ans. A quoi donc cela tient-il? Comment se fait-il qu'avec les ingénieurs les plus instruits, et les construc-

(1) Aux Etats-Unis on a compté 1,018 victimes pour une seule année.

teurs les plus habiles, on ne produise que des chaudières imparfaites, en ce sens que l'on n'est jamais en sûreté dans les lieux où elles se trouvent ?

Comment se fait-il, par exemple, qu'un pyroscaphe, marchant pour la première fois, ait fait explosion ? Comment ? le voici.

Dans tous les temps, nous avons toujours eu la prétention ridicule de dire à la science : Tu n'iras pas plus loin. Dans tous les temps aussi, une découverte inattendue est venue détruire en un seul jour tout l'échafaudage de nos théories, et nous montrer le vide de nos conceptions. Et c'est à cette orgueilleuse fatuité que l'on doit surtout attribuer le peu de progrès que nous avons faits dans les sciences, bien plus encore qu'aux difficultés réelles que l'on rencontre dans la recherche des lois de la nature, dont un très petit nombre est connu, quoi qu'on en dise.

Or, voici ce qui est arrivé pour les chaudières à vapeur. Nous avons dit : La théorie de la chaleur est actuellement parfaitement établie ; elle a maintenant la certitude d'un fait mathématique ; elle repose sur une base inébranlable, l'équilibre du calorique. De l'équilibre du calorique à l'équilibre de tension, il n'y avait qu'un pas, aussi ce court espace fut-il franchi sans la moindre hésitation, et nous ajoutâmes : Adaptez un flotteur, un manomètre et des rondelles fusibles à vos chaudières, et vous pourrez dormir tranquilles dans leur voisinage. Mais combien de réveils terribles, combien d'hommes sont passés des bras de ce sommeil dans ceux de la mort, victimes d'une théorie trompeuse !

Dès le 25 *octobre* 1838, j'avais annoncé à M. le président de l'Académie des sciences, que l'état sphéroïdal de l'eau devait jouer un rôle fort important dans certaines explosions des chaudières à vapeur, et que c'était à ce phénomène que l'on devait principalement attribuer les explosions formidables qui jettent, de temps à autre, l'épouvante dans la société.

Le *Journal de Paris*, du 4 septembre 1839, annonçait dans les termes suivants l'explosion du *Butterfly :*

« D'après une correspondance des États-Unis, un nouveau sinis-
» tre, causé par l'explosion d'un bateau à vapeur qui descendait
» la *Delaware*, vient tout récemment de fournir matière à un pro-

» cès, dont l'issue ne tardera pas sans doute à nous être connue. Le » *Butterfly of Salem* (le Papillon de Salem), orgueil des riverains » américains de la Delaware, ne s'attendait pas, lui, sylphe des » eaux, aux ailes de feu, de figurer un jour dans les archives » judiciaires de la Pensylvanie. Il est vrai que la navigation par » la vapeur n'a encore rien fait pour corriger les vices malheu- » reusement trop éprouvés du système primitif de locomotion. » Le *Butterfly* était destiné à grossir le chiffre des effets de cette » redoutable négligence, aux dépens de la vie de vingt-trois pas- » sagers, partis de Woodbury, de Chester, de Swederboroug, de » Wilnington, pour Newcastle et Salem, terme du voyage. Il » paraît, car on ne peut avoir que des doutes sur l'endroit où le » terrible accident a eu lieu, que l'explosion s'est faite entre Phi- » ladelphie et Darby, vers le coucher du soleil; des rapports re- » cueillis depuis affirment cette supposition. La seule certitude » qu'on puisse avoir, et elle est bien triste, c'est que, équipage » et passagers, tous ont péri. On n'a trouvé que quelques lam- » beaux de cadavres à demi brûlés, épars dans l'intérieur des » terres arrosées par la Delaware. Chose étrange, et qui fait la » base du procès auquel a donné lieu l'explosion du *Butterfly*, » c'est qu'on n'a pas pu découvrir, tant la rupture a été puissante, » un seul fragment de la chaudière, ni des pièces mécaniques de » l'appareil, en sorte que les assureurs se disent en droit de n'avoir » rien à payer; puisque rien ne prouve qu'il y a eu réellement » sinistre par le fait du déchirement de la chaudière, et, à plus » forte raison, par l'excès de vapeur. Comment démontrer, disent- » ils, que l'appareil a éclaté, puisqu'il n'y avait plus d'appareil? » En attendant que les tribunaux d'Amérique décident cette » question judiciaire, dont la subtilité n'aurait pas grand poids » en France, plus de vingt familles de l'État de Pensylvanie sont » dans le deuil et le désespoir. Quand de semblables malheurs » auront-ils un terme? Il y a deux mois qu'un steamer épouvan- » tait les habitants des rives du Danube, en rejetant sur ses bords » des membres déchirés; l'autre semaine, la Seine a failli être » troublée par une explosion heureusement arrêtée, aujourd'hui » nous avons à raconter l'histoire du *Butterfly*. La science, qui

» a découvert l'emploi de la vapeur, devrait s'occuper, il en est » temps, des moyens de la modérer. Une découverte vaudrait » l'autre. »

N'est-il pas évident que l'explosion du *Butterfly* est due à la naissance soudaine d'une force d'une incommensurable puissance? Il ne peut pas rester l'ombre du doute à cet égard.

J'en écrivis au *Journal de Paris*, et j'émis, sous la forme dubitative, l'opinion que cette explosion pouvait être raisonnablement attribuée à l'état sphéroïdal de l'eau.

Depuis cette époque, M. Andraud a annoncé que ces effrayantes explosions étaient dues à l'électricité. Nous verrons bientôt si l'opinion de ce physicien, que je ne rejette pas absolument, est plus ou moins fondée.

La destruction du *Butterfly* s'étant en quelque sorte accomplie dans le désert, loin de tous les yeux, et tous les hommes qui se trouvaient à son bord ayant été victimes de ce terrible événement, un vaste champ est ouvert à toutes les opinions sur la cause probable ou possible de cette catastrophe; aussi ne m'y arrêterai-je point. Je dirai seulement, et cela ne saurait être contesté, que la cause qui a pulvérisé ce paquebot a dû être engendrée instantanément, et avoir une force incalculable.

Nous allons maintenant assister à un événement du même genre, arrivé en France au commencement de cette année. Il s'agit du *Citis*, construit d'après les plans d'un ingénieur de Paris, et sous la direction d'un officier d'artillerie.

La *Presse* du 21 janvier raconte en ces termes l'explosion de ce paquebot :

« Retenu d'abord par les débordements de la Saône, puis par » les glaces, on attendait la débâcle pour procéder à l'essai défi- » nitif. Depuis le mois de décembre ses machines avaient plusieurs » fois fonctionné sur place, et l'on avait constamment entretenu » un petit feu sous les chaudières pendant ces grands froids. Di- » manche, à deux heures de l'après-midi, diverses personnes, » intéressées à l'essai de ce bateau, et des curieux s'étaient ren- » dus à bord pour descendre la Saône. La marche était très lente, » faute de vapeur ; on l'attribuait à la mauvaise qualité du char-

» bon ; cependant à 4 kilomètres de Châlon, on fit arrêter pour » rétablir les feux. Le bateau était encore à l'amarre ; les ingé- » nieurs allèrent eux-mêmes vérifier le niveau d'eau, et les trois » robinets de jauge : tout était en parfait état ; on remarquait seu- » lement que la vapeur demeurait faible, et sortait à très basse » pression par une soupape. M. Bourdon et M. Schneider venaient » de remonter sur le pont, lorsque l'explosion eut lieu. Toutes » les personnes qui s'y trouvaient furent lancées à l'eau, ou y sau- » tèrent spontanément, à l'exception de M. Schneider, qui, appelé » par les cris, se porta immédiatement à l'emplacement de sa » machine, et n'y pénétra qu'en surmontant tous les obstacles » que lui opposaient la vapeur et la fumée. Secondé alors par des » ouvriers, il parvint à enlever deux blessés, et il allait remonter » une troisième victime, M. Germain, conducteur des travaux du » *Citis*, lorsqu'une forte voie d'eau à l'arrière couvrit le corps, » qu'il ne put arracher, et le força d'abandonner le bateau, qui » disparaissait sous ses pieds, engloutissant les corps mutilés » qu'on n'avait pu retirer. Un radeau improvisé permit de sauver » ceux que leurs blessures empêchaient de regagner la rive à la » nage ou au moyen des amarres. Dans ce terrible accident, » on aura à déplorer la mort de neuf personnes ; six autres sont » blessées plus ou moins grièvement.

» Il paraît constant que l'explosion doit être uniquement attri- » buée à un vice de disposition dans la chaudière construite avec » le bateau, comme nous l'avons dit, dans les usines de Pont » (Haute-Saône). »

Les renseignements qui précèdent sont précieux, mais insuffisants pour que l'on puisse reconnaître et déterminer positivement la cause de l'explosion du *Citis*. Néanmoins il me sera facile d'établir que la cause probable de cette explosion peut être attribuee à un changement d'état de l'eau, à son passage subit de l'état spheroïdal à l'état liquide, et rapidement à l'état de vapeur ; mais, avant que d'exposer mes vues sur cet événement, je ferai connaître celles de M. Andraud.

M. Andraud, dit M. P.-H. Blanchard, connu par d'ingénieuses tentatives dans le but de faire de l'air comprimé un moteur uni-

versel, est du nombre des physiciens qui, frappés de ces explosions soudaines, qui brisent tout comme la foudre, estiment qu'elles ne sauraient être produites que par la puissance électrique. Il cite divers accidents de ce genre, dont la tension seule de la vapeur ne paraît pas pouvoir rendre compte ; il rappelle le fait bien constaté de la production d'étincelles électriques dans la vapeur d'eau ; les secousses de cette nature accusées par un ouvrier mécanicien, au moment où il avait le bras plongé dans un générateur, etc. ; il invoque enfin, à l'appui de sa thèse, un fait nouveau qui n'est pas sans valeur.

« Ayant eu l'occasion de comprimer l'air jusqu'à la pression » énorme de 75 atmosphères et au delà, dans des réservoirs de » la capacité de 100 litres et de l'épaisseur seulement de 2 milli- » mètres, il a vu constamment, on le conçoit, ces récipients » céder ; mais ils l'ont fait sans explosion, sans éclat ; l'air s'en est » échappé avec un sifflement très aigu, par une fissure impercep- » tible. Si donc, dit-il, il n'y a pas explosion, mais simple déchi- » rure, à 75 atmosphères, dans des récipients à parois si minces, » comment pourrait-il y avoir explosion fulminante dans des » vases de 5 millimètres, sous une pression de quelques atmos- » phères seulement ? »

L'auteur conclut de ses observations qu'on s'est mépris jusqu'à ce jour sur la véritable cause des explosions des machines à vapeur, que tous les systèmes des soupapes de sûreté, étant imaginés en vue de limiter la force expansive de la vapeur, sont impuissants contre les explosions.

« Dans son hypothèse, l'auteur pense que le problème essen- » tiel à résoudre aujourd'hui est celui-ci : Empêcher l'étincelle » électrique de se dégager dans la vapeur, étincelle tout à fait » assimilable, à ses yeux, à l'étincelle électrique qui détermine » l'explosion dans le pistolet de Volta. »

D'après les expériences consignées dans cet opuscule et les propriétés que j'ai découvertes dans les corps, je pense que le problème à résoudre serait celui-ci : *Empêcher l'eau de passer à l'état sphéroïdal en maintenant constamment dans la chaudière les deux cinquièmes de l'eau qu'elle peut contenir ; empêcher éga-*

lement cette eau de dépasser jamais la température de + 250°.

Mais je suis entièrement d'accord avec M. Andraud sur un point, c'est que l'on s'est mépris jusqu'à ce jour sur la véritable cause de l'explosion des chaudières à vapeur: doit-on l'attribuer à l'électricité, ou à un changement d'état de l'eau, à son passage de l'état sphéroïdal à l'état liquide? C'est ce que je vais examiner.

Et d'abord, est-il constant qu'il y ait eu production d'étincelles électriques dans les chaudières à vapeur? Est-il constant qu'un ouvrier ayant un bras plongé dans une chaudière ait éprouvé des secousses de la nature de celles que produit l'électricité? Rien n'est moins certain, il faut en convenir, et jusqu'à ce que des expériences positives aient mis ce fait hors de doute, il sera permis d'en révoquer l'exactitude. On sait avec quelle facilité on s'abuse et combien l'art de bien observer est difficile, même pour les hommes les plus habiles et les plus consciencieux; or, s'il est difficile à des hommes expérimentés de se mettre à l'abri des illusions, à plus forte raison doit-il en être ainsi pour des ouvriers qui manquent de guides sûrs et relativement infaillibles pour parcourir avec fruit le champ des observations scientifiques, quoique beaucoup d'entre eux soient des hommes d'une haute intelligence et auxquels des circonstances favorables ont seules fait défaut : ce serait donc à tort que l'on admettrait actuellement, comme parfaitement prouvée, la production de l'étincelle électrique dans les chaudières à vapeur; il faut attendre pour cela que des observations bien faites mettent ce fait important dans tout son jour, et certes M. Audraud peut, mieux que personne, établir d'une manière positive que son opinion repose à cet égard sur des bases inébranlables.

Mais la production de l'étincelle électrique une fois admise, il faudra encore prouver qu'elle est tout à fait assimilable à celle qui produit l'explosion dans le pistolet de Volta; or, rien ne paraît plus difficile: en effet, l'explosion qui se fait dans le pistolet de Volta résulte de l'inflammation, par l'étincelle électrique, d'un mélange, soit d'hydrogène et d'air, soit d'hydrogène et d'oxygène. Ici, comme on voit, l'étincelle électrique n'est point la cause première de l'explosion, mais seulement la cause occasionnelle.

Pour que l'opinion de M. Andraud fût entièrement fondée, il faudrait admettre que l'eau est décomposée dans la chaudière et recomposée par l'étincelle électrique, et, il faut le dire, l'expérience justifie une semblable supposition. On sait, en effet, que le fer rouge de feu décompose l'eau et que l'hydrogène réduit l'oxyde de fer précisément à la même température. (Voy. p. 61.)

D'après toutes ces considérations, il me paraît plus rationnel d'assimiler l'étincelle électrique des chaudières à vapeur (si étincelle il y a) à celle qui lance un projectile, par la dilatation subite de l'air, dans le mortier de Kinnersley; mais ici encore l'électricité ne serait que la cause occasionnelle de l'explosion.

Admettons, pour un instant, qu'il soit parfaitement prouvé qu'il y a production de l'étincelle électrique dans le sein d'une chaudière à vapeur, il restera encore à déterminer si cette étincelle est cause ou effet : s'il est reconnu qu'elle est la seule cause des explosions, tout sera dit sur ce point, et il ne s'agira plus que de chercher par quels moyens on pourrait l'empêcher de naître; mais si, au contraire, ce n'est qu'un effet, si l'étincelle suit l'explosion au lieu de la précéder, la question reste indécise, et il faut chercher ailleurs la cause de ces foudroyantes explosions.

On sait du reste qu'il serait fort difficile de dire dans quelles circonstances l'électricité n'est pas mise en jeu, dans quelles autres circonstances elle se développe, car on ne peut pas toucher deux corps hétérogènes, changer la température de l'un de deux corps homogènes, les faire passer d'un des quatre états physiques de la matière à un autre, ou les frotter, ou les percuter, etc., sans que de l'électricité soit mise en liberté; mais ce dégagement d'électricité est inappréciable dans une foule de cas et ne saurait être prouvé. Il en est de même du dégagement du calorique dans l'oxydation du fer: on l'admet par analogie, mais on ne le prouve pas; on l'admet de l'énorme quantité de chaleur qui se dégage lors de l'oxydation rapide du fer dans le gaz oxygène.

Il me reste maintenant à examiner la belle expérience dans laquelle M. Andraud a comprimé l'air jusqu'à la pression énorme de 75 atmosphères, et la valeur des conclusions qu'il en tire.

Si M. Andraud eût soumis tout à coup ses réservoirs de tôle à l'action d'une force égale à la pression de 75 atmosphères, il est très probable qu'ils se seraient déchirés avec explosion ; mais ce ne peut être ainsi que les réservoirs ont été soumis à cette épreuve, l'air a dû y être introduit et comprimé lentement, au moyen d'une pompe foulante. On conçoit dès lors que la tôle soumise à une pareille force ait résisté longtemps à son action et se soit déchirée sans explosion ; la pression croissant graduellement, les molécules du fer ont pu, ont dû se grouper de telle sorte que la capacité du vase en a été augmentée d'une manière sensible; ensuite, lorsque le maximum de résistance a été atteint, le déchirement s'est opéré dans les parties qui avaient le moins de cohésion.

En définitive, l'expérience de M. Andraud ne me paraît être qu'une expérience sur la ténacité de la tôle de 2 millimètres d'épaisseur, et je pense qu'un corps qui résisterait à l'action graduelle d'une force quelconque, n'y résisterait pas si la même force lui était appliquée tout à coup, de même qu'un aimant qui supporterait un poids de 10 kilogrammes, étant chargé gramme à gramme, n'en supporterait pas le quart, si l'on tentait de l'en charger brusquement et en une seule fois.

Je passe maintenant à l'examen d'une autre cause d'explosion des chaudières à vapeur, et qui naît de l'*état sphéroïdal de l'eau.*

Ainsi qu'on l'a vu, tout le monde est d'accord sur une chose, c'est qu'il existe une cause encore inconnue de l'explosion des chaudières à vapeur et contre laquelle tous les moyens employés jusqu'à ce jour ont échoué. Je crois avoir montré qu'il n'est point établi que cette cause soit due à l'électricité, et j'espère que je serai assez heureux pour prouver qu'elle peut être attribuée à un changement d'état de l'eau, à son passage subit de l'état sphéroïdal à l'état de vapeur en passant préalablement à l'état liquide.

On a vu précédemment que l'équilibre de chaleur et l'équilibre de tension n'existaient pas pour les corps à l'état sphéroïdal. Ce sont là des faits de la plus haute importance qui vont jeter un jour tout nouveau sur la grande question de l'explosion des chaudières à vapeur.

« *Dans un espace inégalement chaud*, dit M. Pouillet, *quand » l'équilibre est établi, la tension de la vapeur est la même dans » tous les points, et partout elle est égale à la tension maximum des » parties de cet espace qui sont à la température la plus basse.* »

Si l'on remplace le dernier mot de cette loi par le mot HAUTE, on aura, sinon la loi de la tension de la vapeur des corps à l'état sphéroïdal, au moins la marche des phénomènes ; c'est-à-dire que pour les corps à l'état sphéroïdal, c'est le contre-pied de la loi admise jusqu'ici comme vraie, qui représente les faits. Cela résulte évidemment de la plupart des expériences consignées dans la première partie de cette brochure.

Je prie le lecteur de vouloir bien se rappeler que la première partie de mon Mémoire a été adressée à l'Académie à la fin de novembre 1840 ; car, s'il ne s'en souvenait pas, il pourrait croire que les expériences dont il s'agit auraient été faites après l'explosion du *Citis*, qui n'a cependant eu lieu que dans le courant du mois de janvier suivant.

Que par négligence, ou par toute autre cause, l'alimentation d'une chaudière à vapeur soit imparfaite, qu'elle ne contienne plus d'eau ou n'en contienne qu'un dixième de la quantité qu'elle peut contenir, il arrivera, dans le premier cas, que les parois rougiront au moins par leur surface inférieure, et que l'eau qu'on y fera arriver ensuite passera à l'état sphéroïdal, pour repasser à l'état liquide et ensuite de vapeur, soit par l'addition d'une grande masse d'eau, soit par la diminution de l'intensité du feu, d'où l'explosion de la chaudière ; et il arrivera dans le second cas que les parties latérales et les parties supérieures de la chaudière pourront rougir, et la vapeur aura dans cette circonstance une force élastique considérable. Les choses étant dans cet état, il sera permis de craindre que les soupapes de sûreté et les rondelles fusibles ne soient insuffisantes pour l'écoulement de la vapeur, et la chaudiere sera exposée à céder à la pression intérieure à laquelle elle sera soumise. Les personnes qui se trouveront dans le voisinage de l'endroit où l'explosion se fera pourront être blessées, brûlées profondément et même tuées.

Mais ces sortes d'explosions peuvent être prévenues par les

soupapes, et elles le sont ordinairement; néanmoins elles sont encore assez fréquentes, mais ce sont les moins dangereuses. Ici l'explosion se fait probablement par déchirures comme dans les réservoirs de tôle.

Mais il pourra arriver aussi que l'explosion n'ait pas lieu immédiatement, mais plus tard et d'une manière terrible; voici comment les choses se passeront dans cette seconde hypothèse :

S'il est vrai de dire que l'eau, dans la supposition qui vient d'être faite, soit encore soumise à l'empire des lois de l'équilibre de chaleur et de tension, il est vrai de dire aussi qu'elle est sur la limite de cet empire, et que la plus petite cause peut l'en faire sortir; et cette cause, on la trouve dans l'ouverture volontaire ou involontaire d'une soupape et dans l'établissement de la communication entre la chaudière et les corps de pompe, ou la mise en route.

En effet, l'eau qui se trouve dans un espace fermé et chauffé à une très haute température, est soumise à l'action de deux forces qui se neutralisent : la pression énorme exercée par sa vapeur et la répulsion de la surface métallique (1). Mais vient-on à ouvrir des soupapes ou des robinets, la première force est en partie détruite, et l'eau, repoussée par la surface presque rouge, s'élance par tous les orifices qu'elle rencontre et qu'elle peut obstruer momentanément, et une explosion peut être la conséquence immédiate de cette *obstruction* (2) ; mais si l'explosion n'a pas lieu comme je

(1) M. Bresson, ingénieur civil et professeur de mécanique à Rouen, avait soupçonné l'existence de cette force répulsive des surfaces incandescentes, et il attribuait certaines explosions des chaudières à vapeur au développement de cette force.

M. Bresson faisait figurer aussi au nombre des causes de l'explosion des chaudières, la décomposition de l'eau par leurs parois incandescentes. Ces conjectures hardies ont été consignées dans des mémoires adressés, dès l'année 1830, à l'Académie des sciences et à la Société d'encouragement; mais elles ne sont parvenues à ma connaissance que dans les premiers jours de l'année 1842, c'est-à-dire longtemps après la rédaction de cet opuscule. Je suis heureux de m'être trouvé d'accord, sur des questions de cette nature, avec un homme du mérite de M. Bresson, et d'avoir confirmé par des expériences ses vues théoriques sur deux causes d'explosion des chaudières à vapeur.

(2) J'ai déjà dit précédemment qu'il était très imprudent de donner issue

viens de le dire, l'eau passe à l'état sphéroïdal en retombant sur le fond de la chaudière et sa température descend à $+96°,5$; *elle ne fournit qu'un petit jet de vapeur, qui ne paraît pas avoir de tension, tant elle est rare* (1), *et alors la marche est très lente, faute de vapeur; on remarque seulement que la vapeur demeure faible et sort à très basse pression par une soupape* (2).

Tant que les choses resteront dans cet état, aucun danger ne sera à craindre; mais si l'on éteint ou si l'on diminue l'intensité des feux, l'eau repassera de l'état sphéroïdal à l'état liquide, d'où

brusquement à la vapeur. Je me fais un devoir d'entrer dans quelques détails à cet égard.

Supposons une chaudière fonctionnant sous la pression de 5 atmosphères effectives; l'eau qu'elle contiendra sera à la température de 152 degrés, c'est-à-dire que chaque kilogramme de cette eau aura 52 calories de plus qu'il n'en faut pour la maintenir à l'état d'eau bouillante, et cet excédant de chaleur sera toujours disponible. Supposons encore que cette chaudière contienne dix tonnes d'eau, et nous aurons tous les éléments nécessaires pour calculer combien il peut se former de vapeur instantanément par suite de l'ouverture brusque d'un grand robinet ou de la rupture du levier d'une soupape à large section, etc.

Appelons V la quantité de vapeur actuellement contenue dans l'eau, k la quantité d'eau en kilogrammes, t sa température, t' la température de l'eau bouillante, C la chaleur totale contenue dans la vapeur, et v le volume de la vapeur, et nous aurons la formule :

$$V = k\left(\frac{t-t'}{C}\,v\right),$$

dans laquelle :

$k = 10,000$ kilogrammes.
$t = 152°$
$t' = 100°$
$C = 637$
$v = 1700$

En effectuant le calcul, on trouve que l'eau contient, en chiffres ronds, toute la chaleur nécessaire pour former instantanément 816 kilogrammes ou 1,387,200 litres de vapeur !

La conséquence à tirer de ceci c'est qu'il est toujours prudent de se tenir à distance d'une grande chaudière à vapeur, et aussi que les systèmes de chaudières à vapeur qui contiennent le moins d'eau sont les moins dangereux.

(1) Voy. la 46ᵉ expérience, 22 novembre 1840.

(2) Voy. la *Presse* du 21 janvier 1841. N'avais-je pas raison de prier le lecteur de se souvenir de la date de mon mémoire.

des torrents de vapeur au maximum de tension, d'où aussi une explosion terrible; ou bien, si, ne diminuant pas les feux, on fait arriver dans la chaudière une grande masse d'eau froide, une masse suffisante pour refroidir au-dessous de + 500° les parois inférieures de la chaudière, on verra toute cette eau se réduire en vapeur ayant une tension énorme. Ceci une fois admis, on conçoit sans peine que le *Butterfly* ait entièrement disparu, et que le *Citis*, bateau tout neuf, ait été détruit à son premier voyage; on m'a assuré qu'une partie de l'appareil de ce dernier paquebot avait été lancée en amont, et *sous l'eau*, à 20 mètres de l'endroit où l'explosion s'est faite! N'a-t-il pas fallu, je le demande, qu'une force soudaine et d'une puissance incalculable, irrésistible, s'engendrât au sein des chaudières de ces navires pour qu'ils fussent ainsi détruits en un instant? Et cette force peut-elle être attribuée à une autre cause qu'à un changement d'état de l'eau, à son passage de l'état sphéroïdal à l'état liquide et de vapeur, enfin à la destruction de l'équilibre de chaleur et de l'équilibre de tension? Quant à moi, cela ne me paraît nullement douteux.

Si l'on ajoute à ces causes d'explosion la décomposition de la vapeur par le fer rouge, on comprendra sans peine la violence de ces soudaines explosions.

On a cru jusque dans ces derniers temps que l'eau ne pouvait passer à l'état sphéroïdal qu'en très petites masses (un gramme tout au plus), et qu'il fallait que la surface métallique fût chauffée à blanc; mais c'étaient là deux erreurs, de ces erreurs qui s'accréditent et se perpétuent trop facilement.

En effet, j'ai prouvé que l'eau pouvait passer à l'état sphéroïdal à la température de 200 degrés et au-dessous, et cela en très grandes masses. Ces deux expériences, rapprochées l'une de l'autre, doivent faire ouvrir les yeux aux plus incrédules, et leur montrer que la théorie de la chaleur et des chaudières à vapeur, que l'on croyait si avancée, n'est encore que dans l'enfance et qu'il lui reste beaucoup de chemin à faire pour qu'elle soit assise sur des bases inébranlables.

Si les chaudières, au lieu de recevoir directement l'action du foyer, étaient armées de bouilleurs, ceux-ci pourraient rougir

sans que la chaudière pût acquérir la même température ; alors des phénomènes mixtes auraient lieu : une partie de l'eau pourrait être à l'état sphéroïdal, l'autre à l'état liquide, comme dans les expériences 39ᵉ, 40ᵉ et 41ᵉ, sauf le cas où la totalité de l'eau pourrait être contenue dans les bouilleurs ; dans ce cas-là, le danger serait très grand et il suffirait de l'abaissement de la température des bouilleurs, ou de l'addition d'une certaine quantité d'eau froide, pour déterminer leur explosion.

Dans le cas où une partie de l'eau seulement serait à l'état sphéroïdal, le danger serait moins grand peut-être ; néanmoins on ne sera point en sûreté lorsque de pareils phénomènes se manifesteront.

Une chose fort importante à noter (je l'avais déjà dit dans la lettre que j'ai eu l'honneur d'adresser à l'Académie le 27 janvier 1841), c'est que, lorsque l'eau passe de l'état liquide à l'état sphéroïdal, le manomètre descend tout à coup, quoiqu'il indiquât d'abord le maximum de tension : alors il ne reste qu'une voie, une seule voie de salut, c'est d'empêcher qu'il n'arrive une seule goutte d'eau froide dans la chaudière et de faire un très grand feu dans les fourneaux ; ensuite on entretient le jeu de la machine, si cela est indispensable, au moyen de la petite quantité de vapeur qui se forme et qui a une tension énorme ; ou bien on arrête le jeu de la machine et l'on ouvre toutes les soupapes, en employant tous les moyens qui sont à la disposition du mécanicien pour vider rapidement la chaudière ; lorsqu'elle est vide, on éteint les feux et on laisse refroidir l'appareil.

Si, au lieu d'éteindre les feux du *Citis*, comme on l'a fait, on les eût, au contraire, entretenus et même augmentés, il est probable que le *Citis* naviguerait encore aujourd'hui, et que ses passagers seraient tous existants. On se rappelle qu'on le fit arrêter à 4 kilomètres au-dessus de Châlon, pour *rétablir les feux*. C'est cette manœuvre qui m'a fait dire qu'ils avaient été éteints.

Mais il serait bien plus à désirer qu'on empêchât l'eau de passer à l'état sphéroïdal dans la chaudière, et l'on y parviendrait facilement, si l'on avait un moyen sûr d'y maintenir constamment au moins les deux cinquièmes de la quantité d'eau qu'elle peut

contenir, et d'empêcher que la température ne dépasse un certain degré.

On obtiendrait probablement encore ce résultat si désirable en hérissant de pointes l'intérieur des bouilleurs et des chaudières; mais alors leur nettoyage serait impossible, ou tout au moins fort difficile. Peut-être parviendrait-on également à prévenir l'explosion des chaudières par suite de l'état sphéroïdal de l'eau, en plaçant, dans toute la longueur des bouilleurs et des chaudières, des spires mobiles de gros fil de fer, ou bien une grande quantité de petites pyramides de fer triangulaires. Lors du nettoyage, on enlèverait ces spirales ou ces pyramides, et on les replacerait ensuite.

Mais, soit qu'on emploie des pointes fixées dans les chaudières, des spirales ou des pyramides mobiles, le résultat très probable de l'emploi de ce moyen sera d'établir continuellement le contact d la chaudière et de l'eau, et, conséquemment, d'empêcher l'état sphéroïdal de naître. Du reste, c'est à l'expérience, seul guide à suivre dans ces sortes de choses, à prononcer sur le plus ou moins d'avantages de ces moyens préservatifs.

Mais je m'empresse de le déclarer ici, les expériences que j'ai faites en vue d'éclairer cette importante question, quelque concluantes qu'elles soient, sont encore à l'état embryonnaire et demandent de nouvelles études.

Voici une des premières expériences que je me propose de faire lorsque je serai en position de l'exécuter.

Une chaudière d'essai, de fer (1), de forme à peu près sphérique, pouvant résister à une tension énorme, et munie de cinq tubulures, sera fixée convenablement dans un fourneau; on en fera rougir le fond, puis on y introduira une certaine quantité d'eau à l'aide d'une pompe foulante, adaptée à l'une des tubulures. Les autres tubulures donneront passage à deux thermomètres dont l'un plongera dans l'eau à l'état sphéroïdal, l'autre sera suspendu dans l'espace plein de vapeur. Un manomètre à air gradué jusqu'à

(1) Je donne la préférence au fer sur le cuivre, parce que ce dernier métal ne décompose pas l'eau comme le premier.

50 atmosphères sera convenablement fixé sur la quatrième tubulure ; enfin la cinquième tubulure servira de soupape. Un levier, placé sur cette soupape, pourra être chargé à volonté, et donner ainsi, en même temps que le manomètre, la tension de la vapeur.

Quatre observateurs (1) placés devant la chaudière noteraient, toutes les demi-minutes : 1° la température de l'eau ; 2° celle de sa vapeur; 3° l'état du manomètre ; 4° et l'état de la soupape. Cette expérience serait répétée plusieurs fois, et la moyenne des observations serait considérée comme représentant exactement la marche des phénomènes.

Ensuite la même série d'expériences serait faite à des températures différentes. Puis, on ferait passer l'eau de l'état sphéroïdal à l'état liquide, tantôt en refroidissant la chaudière, tantôt en y faisant arriver un courant d'eau froide.

On se placerait, enfin, dans les mêmes conditions que celles des chaudières à vapeur, en mettant de l'eau dans la chaudière d'essai avant que de chauffer, etc., etc. (2). Je n'indique ici qu'une partie des recherches que je me propose d'entreprendre, car il en est que je ne puis pas même prévoir. On sait qu'il en est des expériences comme des idées : une expérience appelle une autre expérience, comme une idée appelle une autre idée.

Encore un mot sur l'explosion du *Citis*.

Une enquête judiciaire ou administrative a été faite sur l'explosion de ce paquebot, et j'avais le désir de la lire afin de bien connaître toutes les circonstances de cet événement ; je désirais surtout savoir quelle était la forme de la chaudière. J'ai donc dû demander que cette enquête me fût communiquée, mais je n'ai

(1) Deux observateurs pourraient suffire en se servant du thermomètre *à maxima*.

(2) Quelques essais me font croire que, dans certaines circonstances, une petite quantité d'eau peut se réduire entièrement en vapeur et se résoudre ensuite en eau par un abaissement de température de quelques degrés. Il va sans dire qu'en retombant sur le fond de la chaudière, l'eau passe à l'état sphéroïdal. (Voy. l'expérience de M. Cagniard de la Tour, à l'art. COSMOLOGIE. Voy. aussi le Mémoire de Perkins, *Annales de chimie*, décembre 1827, et une Note de M. Lechevallier, *Journal de chimie médicale*, t. VI, p. 539.)

pas pu l'obtenir. Qu'on s'étonne après cela de la lenteur avec laquelle se dissipent les erreurs !

Mais des renseignements, non officiels, que je ne garantis pas, m'ont appris que la chaudière du *Citis* était formée de trois cylindres concentriques : le cylindre extérieur constituait la chaudière proprement dite, venait ensuite le foyer, puis au milieu de celui-ci, le bouilleur, communiquant à la chaudière par des armatures.

S'il est vrai que la chaudière de ce paquebot fût réellement construite comme je viens de le dire, il est très facile de se rendre compte de son explosion.

Les hommes chargés de la surveillance et de l'alimentation de la machine, mus par le désir, fort louable assurément, de montrer la marche supérieure de ce nouveau pyroscaphe, durent nécessairement faire arriver peu d'eau dans la chaudière, afin qu'elle s'échauffât plus vite et que sa vapeur acquît rapidement son maximum de tension. Mais, qu'arriva-t-il ? Le bouilleur, enveloppé de combustible et de flamme, dut rougir, et acquérir cette force répulsive qui empêche le contact des corps, et qui leur fait contracter de nouvelles propriétés, ainsi que je l'ai fait voir précédemment. En un mot, l'eau fut soumise, au moins en partie, à l'empire des lois de l'état sphéroïdal, et la marche du navire devint très lente, faute de vapeur. On attribua, mais à tort, selon moi, la lenteur de la marche à la mauvaise qualité du charbon. Au-dessus de Châlons, on fit arrêter pour rétablir les feux ; mais il est vraisemblable qu'ils ne furent point rétablis assez tôt, et que le refroidissement du bouilleur lui fit perdre la force répulsive qu'il possédait ; l'eau le mouilla et se réduisit instantanément en vapeur, d'où ce choc terrible qui coûta la vie à plusieurs personnes, en blessa un plus grand nombre, et projeta une partie de l'appareil à 20 mètres de l'endroit où la destruction du *Citis* fut consommée.

Cette formidable explosion aurait pu être également occasionnée, les feux étant rallumés, par l'introduction d'une grande masse d'eau dans la chaudière, car la masse exerce aussi une action sur le changement d'état de l'eau, sur son passage de l'état sphéroïdal à l'état liquide.

Il ne faut pas oublier que ce navire était entièrement neuf et

que sa construction avait été dirigée par des hommes d'une grande habileté.

On a vu que les eaux salées passaient plus difficilement à l'état sphéroïdal (voy. § I, et p. 81), et qu'elles demandaient une température plus élevée que les eaux douces ou pures; d'où il suit que la navigation à la vapeur est moins dangereuse à la mer que sur les fleuves et les rivières. Je pense que la statistique confirmerait pleinement ma manière de voir sur ce point, car je ne sache pas que l'on ait eu à enregistrer beaucoup d'explosions en pleine mer, où le vent et les courants forcent trop souvent à faire usage de toute la puissance des machines. Tout cela doit contribuer puissamment à rassurer les personnes qui considéraient l'explosion des machines à vapeur, en pleine mer, comme le plus grand et le plus redoutable des périls (1).

Le professeur Belli, membre de l'Institut de Milan, a étudié la cause d'explosion que nous venons de faire connaître, et il a confirmé notre theorie, et de ce côté, nous croyons qu'il n'y a plus rien à faire au point de vue théorique. Nous reproduisons plus bas le texte même des calculs de M. Belli (2).

(1) La perte très probable du *Président* ne change rien à mon opinion sur ce point, par la raison que l'on ignore encore et que l'on ignorera peut-être toujours comment ce magnifique steamer a péri. Il peut avoir été ou incendié ou défoncé par un coup de mer, comme il peut aussi avoir été coulé bas par l'explosion de sa chaudière.

(2) Per avvalorare le conclusioni del signor Boutigny mediante un calcolo più specificato, suppongo che la caldaja di cui egli parla, e a cui dà una capacità di 100 litri, sia di ferro e di figura sferica, colle pareti grosse un centimetro. Io trovo che il peso di essa sarebbe di 84 chilogrammi. Però, attesa una maggiore grossezza che possono avere alcune sue parti, io porto un tale peso a chilogrammi 91, i quali avendo una capacità specifica pel calorico di 0,1098, vengono a equivalere, in riguardo alle quantità di calorico di che abbisognano pe' cangiamenti di temperatura, a chilogrammi 10 di acqua. Chiamo:

T, la temperatura che ha una tale caldaja quando l'acqua contenutavi si trova sferoidale, espressa questa temperatura in gradi centigradi;

q, la quantità, in chilogrammi, dell' acqua che vi si contiene, parte in istato già di vapore e parte in istato liquido di forma sferoidale: delle quali due parti quella in istato di vapore non ha che la tensione corrispondente alla temperatura 96°,5 che è di circa $\frac{9}{10}$ di un' atmosfera, o al più, se il vaso ha

Ce savant suppose, comme nous, qu'il s'agit d'une chaudière de la capacité de 100 litres, qu'elle est de fer et de forme sphérique; que ses parois ont un centimètre d'épaisseur et que son poids est de 91 kilos, enfin qu'elle contient 10 kilogrammes d'eau. Ces données établies, M. Belli les soumet au calcul, et il conclut comme il suit..... « Il sera impossible que la chaudière, à laquelle il res- » tera encore une température de 334°, résiste à une telle force. »

Mais quels sont les moyens à employer pour prévenir ces dangereuses explosions? Nous en avons déjà fait connaître quelques-uns; nous allons les rappeler, et y ajouter ceux que de nouvelles études nous ont suggérés. Voici quels ils sont :

1° Deux thermomètres métalliques de Clément: l'un serait plongé dans l'eau, l'autre dans la vapeur;

2° Des soupapes sifflantes:

ha una bocca poco larga e l'acqua vi è a 100° C., ha la tensione di un' intera atmosfera; al che corrisponde una densità di $\frac{1}{1700}$ o di $\frac{1}{1100}$ di quella dell' acqua, e anche assai meno, se il vaso è già molto caldo: senza occuparmi gran che di queste minutezze, suppongo che la densità di un tale vapore sia di $\frac{1}{2000}$ di quella dell' acqua, e che però in una capacità di 100 litri qual è quella della caldaja vi corrisponda una massa di $\frac{1}{20}$ di chilogrammo;

t, la temperatura dell' apparecchio dopo che l'acqua ha cessato d'essere sferoidale: la quale temperatura suppongo posseduta sì dalla caldaja che dal vapore contenntovi. Di acqua allo stato liquido ammetto che allora non ve ne rimanga più, avendosi avuto cura d'introdurvene a principio quella sola quantità che col calore cedutole dal vaso poteva evaporare; di più non ne suppongo, perchè non avrebbe fatto che riscaldarsi a spese del calore del vaso stesso, senza contribuire all' aumento della tensione.

Ciò convenuto, cercherò quali valori converrà assegnare alla temperatura primitiva della caldaja perchè si abbiano diversi valori dati di *t* dopo cessata l'acqua dall' essere sferoidale; e nello stesso tempo cercherò le corrispondenti grandezze della tensione del vapore risultante e le corrispondenti quantità dell' acqua evaporata.

Osservo a quest' uopo che mentre l'acqua contenuta nel vaso è ancora sferoidale, la quantità del calorico dell' apparecchio al di sopra di 0° C. consiste :

1° Nella quantità del calorico appartenente alla caldaja, la quale, presa ad unità la quantità occorrente a scaldare di 1° C. un litro d'acqua, sarà 10 . T.

2° In quella dell' acqua contenutavi in istato già di vapore, la quale acqua ho detto potersi considerare circa $\frac{1}{20}$ di chilogrammo. Perciò le potremo

3° Le chlorure de calcium ajouté dans les chaudières alimentées par de l'eau douce: à la mer cette addition serait inutile;

4° L'abandon de la forme actuelle des bouilleurs, qu'on remplacerait par une autre, et qui serait telle qu'une certaine quantité d'eau y contenue dût toujours être au-dessous du niveau de la grille du foyer;

5° Les pointes dont on armerait l'intérieur des bouilleurs et qui *tamiseraient* la chaleur dans l'eau;

6° Un ou plusieurs flotteurs d'alarme et un flotteur indicateur de M. Chaussenot;

7° Le manomètre de M. Collardeau;

8° Enfin, et par-dessus tout, des pompes alimentaires, se réglant d'elles-mêmes et fonctionnant avec ou sans l'aide du mécanicien et malgré le mécanicien.

assegnare, al di sopra di quanto ha nello stato liquido a 0°, una quantità di calorico espressa da $\frac{1}{20} . 637,5$.

3° In quella dell' acqua ancora liquida, la quale sarà misurata da

$$q \dot{-} (\tfrac{1}{20})\, 96,5,$$

le quali tre quantità danno per somma

$$10 . T + q . 96,5 + \tfrac{1}{20} (637,5 - 96,5)$$

ossia

(*A*) $$10 . T + q . 96,5 + \tfrac{1}{20} . 541.$$

Dopo che l'acqua avrà cessato d'essere sferoidale e si sarà tutta ridotta aeriforme, la quantità di calorico contenuta nell' apparecchio sarà

(*B*) $$10\, t + q . 637,5;$$

dove la parte

$$10\, t$$

spetterà al vaso, e la parte

$$q . 637,5$$

al vapore, stantechè, secondo le sperienze di Desormes et Clément (Thenard, *Chimie*, t. IV, p. 263, ediz. 1821), in una data quantità di vapore che saturi lo spazio ove è contenuta, si trova sempre la medesima quantità di calorico, sì essendo questo vapore poco caldo e molto espanso, e sì essendo esso molto caldo ma assai condensato; contiene cioè sempre la stessa quantità di calorico come quando egli si forma dalla ebollizione dell' acqua sotto la pressione di una sola atmosfera; che è, al di sopra dell' acqua a 0°, circa 637 1/2 volte quella quantità che può scaldare la stessa acqua di 1° C.

Siccome ora la quantità di calorico contenuta nell' apparecchio è la stessa

Nouveau système de chaudières à vapeur.

On se rappelle l'expérience décrite sous le n° 48, dans laquelle j'obtiens trois détonations avec une certaine quantité d'eau à l'état liquide; tandis qu'avec la même quantité d'eau à l'état sphéroïdal (expérience 49e) j'obtiens douze et quelquefois quatorze détonations, c'est-à-dire que l'effet dynamique produit est

si prima che dopo, così uguagliando le due espressioni (*A*) e (*B*), si avrà l'equazione

$$10 \cdot T + 96{,}5 \cdot q + \tfrac{1}{20} \cdot 541 = 10t + q \cdot 637\tfrac{1}{2},$$

ossia

$$10\,(T - t) = q \cdot 541 - \tfrac{1}{20} \cdot 541,$$

$$(C) \qquad 10\,(T - t) = (q - \tfrac{1}{20})\,541\,;$$

della quale equazione (*C*) si scorge immediatamente la legittimità, se si rifletta che la quantità di calorico perduta dal recipiente nel discendere dalla temperatura T alla t, è eguale a quella acquistata da chilogrammi $(q - \frac{1}{20})$ di acqua allorquando dallo stato liquido a 96°,5 C. ella passa a quello di vapore.

Dando ora a t diversi valori di 50° in 50°, e cercando le corrispondenti forze espansive del vapore del quale viene a riempiersi il recipiente dopo cessato il liquido dall' essere sferoidale; come pure le corrispondenti densità e masse, e le temperature T che doveva avere il recipiente per la vaporizzazione di queste masse, io ho ottenuto i risultamenti esposti nella tavola seguente :

Valore di t.	Tensione in atmosfere.	Densità del vapore.	Chilogrammi di vapore contenuto in 100 litri.	Temperatura necessaria al vaso per la totale conversione dell' acqua in vapore.
100°	1,0	0,000586	0,0586	100°
150	4,6	0,00237	0,237	160,1
200	14,87	0,00687	0,687	234,5
250	38,33	0,01602	1,602	334
300	84,8	0,0324	3,24	473
350	168,5	0,0591	5,91	667
400	308,0	0,100	10,0	938

Per ottenere in questa tavola le tensioni del vapore io mi sono servito sino ai 250° C. delle tavole delle tensioni inscritte nei comuni corsi di fisica; e per le temperature rimanenti ho fatto uso della seguente nota formola trovata da Arago e Dulong :

$$e = [1 + 0{,}007153\,(\alpha - 100)]^5,$$

dove con e s'indica la tensione del vapore espressa in atmosfere.

Per calcolarne la densità io ho supposto : 1° Che valga anche del vapore

quatre fois plus grand dans le second que dans le premier cas.

Il y a là, on ne saurait en douter, tout un nouveau système de machines à vapeur, et les expériences que je viens de citer, qui sont d'une simplicité extrême, sont pleines d'avenir.

J'ai déjà dit la cause de cette différence de la force élastique de l'eau à l'état liquide et à l'état sphéroïdal. Je vais la reproduire ici sans craindre de fatiguer le lecteur, car tout ce qui se rattache à la vapeur est d'un immense intérêt.

acqueo il coefficiente trovato da Rudberg per la dilatazione de' fluidi aeriformi; e perciò ho ammesso che sotto costante pressione il vapore si dilati di $\frac{1}{273}$ del volume a 0°, ossia di $\frac{1}{373}$ del volume à 100°. 2° Che a parità di temperatura valga anche per questi vapori la legge di Mariotte, cioè che la densità sia proporzionale alla tensione. Con queste norme, volendo, per es., calcolare la densità del vapore a 150° C, io rifletto che esso vapore, passando da 100° a 150°, ma rimanendo sotto la pressione di un' atmosfera, si dilata in ragioni di 373 a 423, ossia che esso scema di densità in ragione di $\frac{1}{373}$ a $\frac{1}{423}$; e che nel passare, senza variar temperatura, dalla tensione di un' atmosfera a quella di 4,6 atmosfere, cresce la sua densità :: 1 : 4,6. Talchè le sue densità a 100° sotto un' atmosfera, e a 150° sotto 4,6 atmosfere, sono :: $\frac{1}{373}$: $\frac{4,6}{423}$. E siccome quella a 100° è 0,005856, così quella è data da

$$0,005856 : x :: \frac{1}{373} : \frac{4,6}{423};$$

da cui

$$x=\frac{0,00585\ 6.373}{423}\ 4,6=\frac{0,2184.4,6}{423}=0,00237.$$

Il numero de' chilogrammi di vapore venne subito ottenuto col moltiplicare per 100 il numero esprimente la densità. E il valore di T lo si ebbe finalmente col porre il numero di chilogrammi del quale qui parliamo nella equazione (*C*) al luogo della *q*.

È facile lo scorgere che con una temperatura di 600° C. non può il vaso da noi immaginato far vaporizzare tutti i dieci litri d'acqua supposti da Boutigny, ma che per avere con esso una totale vaporizzazione non conviene porvene che cinque. Si verrà nulladimeno ad avere la enorme tensione di circa 140 atmosfere. E risultando da un mio calcolo che il vano di un tale vaso ha un diametro di centimetri 57 1/2, e una sezione di 2597 centimetri quadrati, ne verrebbe una forza divellente di chilogrammi 2597 × 140 × 1,033, ossia 374000 all' incirca sì verso una banda che verso la contraria. Alla quale la caldaja, cui rimarrà una temperatura di 334° C., sarà impossibile che resista.

(Voy. *Giornale dell' I. R. Istituto Lombardo di scienze, lettere ed arti, e Biblioteca Italiana*, anu. 1844, pag. 248 e seguenti.)

On sait que la force élastique de la vapeur d'eau, sans être proportionnelle à sa température, augmente néanmoins avec son élévation ; on sait encore que la loi de l'équilibre de tension n'est point applicable aux corps à l'état sphéroïdal, et que c'est précisément le contre-pied de cette loi qu'il faut prendre pour les corps à cet état. Ceci admis, on se rend aisément compte de la grande différence des résultats des expériences 48e et 49e. Dans la première, tout l'appareil est soumis à l'empire des lois de l'équilibre de chaleur et de tension, et l'eau, ne pouvant guère s'échauffer au delà de 100 degrés, doit fournir beaucoup de vapeur, pour acquérir assez de force élastique pour chasser le bouchon de l'orifice de la chaudière.

Dans l'expérience 49e, il n'en est pas ainsi. L'eau est à l'état sphéroïdal et sa température ne saurait s'élever au delà de + 98°.

On a vu précédemment que l'eau sous cet état fournissait peu de vapeur ; mais cette vapeur, au lieu d'être en équilibre avec l'eau à 98°, est en équilibre avec le vase qui la coerce. Si l'on suppose que le vase soit chauffé à 500°, la force élastique de la vapeur sera égale à peu près à 1,000 atmosphères, d'après Dulong et Arago. Dans la première expérience il y a beaucoup de vapeur, mais à une basse température, et conséquemment ayant une force élastique très faible ; dans la deuxième c'est tout le contraire : il y a peu de vapeur, mais à une haute température, et conséquemment ayant une force élastique très grande. Enfin, dans l'expérience 48e, la température en moins doit être remplacée par de la vapeur en plus ; et dans l'expérience 49e, la vapeur en moins est remplacée par la température en plus.

Mais la distance qui se trouve entre ces expériences et leur application à l'industrie est immense ; des difficultés de toute nature devront être surmontées, et peut-être s'écoulera-t-il un grand nombre d'années, peut-être sera-t-il dépensé beaucoup d'argent avant qu'une machine construite d'après ce principe ait donné des résultats satisfaisants et immédiatement applicables à l'industrie (1).

(1) Mais je pense que l'eau à l'état sphéroïdal peut être employée dès à présent comme un auxiliaire précieux à bord des bateaux à vapeur. Dans certaines

On concevra facilement nos craintes à cet égard, si l'on se rappelle que le premier essai des machines à vapeur (que l'on croit généralement d'invention toute moderne) remonte à *deux mille ans.*

Une machine dans laquelle l'eau serait employée à l'état sphéroïdal conviendrait particulièrement aux voitures destinées à marcher sur les routes ordinaires. On sait, en effet, qu'une des difficultés que présentent ces sortes de voitures, c'est la nécessité d'*embarquer* une grande quantité d'eau, ou celle de la renouveler fréquemment. Or, une machine dans laquelle l'eau serait employée à l'état sphéroïdal pourrait faire, avec une quantité d'eau donnée, trois fois plus de chemin qu'avec la même quantité d'eau à l'état liquide.

Mais il ne faut pas se faire illusion, il y a de grandes difficultés à vaincre avant que d'obtenir un résultat pratique. Le danger des explosions, par suite du développement de cette incommensurable puissance, qui naît du changement d'état de l'eau, la dilatation et l'altération des métaux soumis à l'action d'une haute température, l'action désorganisatrice de la vapeur d'eau surchauffée (1) sur les corps lubrifiants, les garnitures d'étoupes, de cuir, etc., sont des obstacles qui ne seront sans doute pas vaincus de prime abord, et qui s'opposeront longtemps encore à l'emploi de l'eau à l'état sphéroïdal, comme force motrice. Du reste, le principe est là, c'est un germe que l'avenir peut féconder, et que le temps développera comme il a développé tant de

circonstances de temps ou de guerre, il peut être nécessaire d'élever momentanément la puissance des machines, et c'est ce à quoi l'on parviendra facilement au moyen de la vapeur d'eau à l'état sphéroïdal, sans qu'il soit nécessaire de rien changer à la forme actuelle des machines. En 1844, je proposai à l'un de nos braves amiraux l'emploi simultané des deux vapeurs, comme cela vient d'être indiqué, et, *le 18 mai de la même année*, une lettre de l'aide de camp de service près de cet amiral me remerciait de cette communication, en me promettant de l'examiner.

Or, on a vu à l'exposition dernière une machine à vapeur venant d'Amérique, dans laquelle la vapeur saturée et la vapeur surchauffée étaient employées simultanément, et cette machine donnait, dit-on, de très bons résultats : mes vues sur ce point étaient donc fondées.

(1) La vapeur d'eau à l'état sphéroïdal peut et doit être considérée comme de la vapeur surchauffée.



découvertes desquelles les hommes superficiels disaient à leur apparition : A quoi cela sert-il ?

Si cet ouvrage arrive dans les mains de quelques ingénieurs-mécaniciens, je recommande à toute leur attention ce qui précède. Il ne s'agit point ici de machines nouvelles, de machines qui, quelque savamment combinées qu'elles soient, ne créent pas de force, mais bien d'un NOUVEAU MOTEUR. Tout le monde sait les efforts de Brunel et de Thilorier pour faire servir l'acide carbonique liquéfié comme moteur. Eh bien ! de l'eau à l'état sphéroïdal est de l'acide carbonique liquéfié (mécaniquement parlant), mais se vaporisant à une autre température, à une température beaucoup plus élevée. Quant aux avantages économiques, il est facile de les comprendre : l'acide carbonique liquéfié sera toujours très cher, et l'eau ne coûte rien ; celle-ci peut agir sur des pistons comme ceux qu'on emploie aujourd'hui, et il faudra toujours pour l'acide carbonique des corps de pompe ayant la précision de ceux des machines pneumatiques.

Tous les avantages sont donc du côté de l'eau.

Encore une fois, il n'est pas question d'une nouvelle machine, mais bien d'un NOUVEAU MOTEUR et d'une révolution dans la vapeur, si je ne me trompe ; que les ingénieurs ne s'y méprennent pas, il y a là quelque chose à faire et quelque chose de fort important peut-être (1).

Cet appel a été entendu, et plusieurs ingénieurs sont entrés résolûment dans cette voie, entre autres M. Testud de Beauregard. J'ai été témoin de ses premiers essais, mais j'ignore si le succès a couronné ses efforts.

Plus tard, en 1849, j'entrai moi-même en lice sur la proposition qui m'en fut faite par M. Moinier de la maison Jaillon, Moinier et compagnie. Je fis à M. Moinier toutes les observations que je devais lui faire, l'assurant que le succès était au moins douteux.

Tout ce qui fut dit, dans cette circonstance, pour ou contre mon système de générateur, fut soumis à l'appréciation de

(1) Voyez la 71ᵉ expérience ; il est possible qu'elle ait une grande valeur au point de vue pratique.

M. C. Thurneyssen, principal commanditaire de la maison dont il s'est agi, et M. Thurneyssen se rangea entièrement à l'avis de M. Moinier, et ces messieurs persistèrent dans la bonne opinion qu'ils avaient conçue du nouveau générateur. On va voir que mes craintes étaient chimériques et nullement fondées.

Générateur de vapeur à diaphragmes.

La matière, qu'elle soit à l'état solide, à l'état liquide, ou à l'état sphéroïdal, ne s'évapore que par ses surfaces. Ce fait étant admis, il était naturel de penser qu'en multipliant considérablement ces surfaces on activerait proportionnellement l'évaporation, et en faisant l'application du principe général à l'eau on pouvait légitimement espérer d'obtenir de la vapeur dans de meilleures conditions qu'aujourd'hui, ou tout au moins dans des conditions nouvelles dont l'industrie pourrait tirer parti, soit comme source de calories, soit comme source de dynamies.

Des expériences ont été faites dans ce but avec quelque succès, et je viens aujourd'hui les soumettre au jugement du public ; je le prie de vouloir bien accueillir ces expériences avec indulgence, car c'est surtout quand on s'engage dans des voies nouvelles que l'erreur est possible et toujours à craindre.

On n'a peut-être pas oublié les expériences qui avaient pour but de démontrer expérimentalement l'une des causes des explosions fulminantes des chaudières à vapeur. Une étude plus attentive, plus complète de ce phénomène, m'a servi de point de départ dans la construction du nouveau générateur dont il s'agit, et dont voici la description :

Cet appareil consiste en un cylindre terminé à sa base par une calotte sphérique ; il est fermé à la partie supérieure par un couvercle boulonné, sur lequel se trouvent tous les organes ordinaires des chaudières à vapeur : tuyau d'alimentation, prise de vapeur, reniflard ou purgeur, manomètre, soupape, tuyau d'épreuve, trop-plein de vapeur, etc.

Ce cylindre contient dans son intérieur depuis cinq jusqu'à dix diaphragmes de tôle dont les bords sont relevés ; ils sont alterna-

tivement légèrement convexes et concaves et percés de petits trous de bas en haut.

Au moyen de cette disposition, d'ailleurs fort simple, l'eau parcourt une grande surface avant que d'arriver au fond du cylindre, et tombe en pluie du premier diaphragme sur le second, du second sur le troisième, et ainsi de suite. En outre, sur le premier diaphragme, qui est convexe, l'eau va du centre à la circonférence; sur le second, qui est concave, de la circonférence au centre, etc. Ces diaphragmes sont maintenus à la distance voulue entre eux au moyen de trois tringles de fer.

La forme alternativement convexe et concave des diaphragmes a pour but, comme je l'ai dit, de faire parcourir à l'eau le plus d'espace possible, et les petits trous au travers desquels elle passe augmentent considérablement sa surface, d'où résulte une évaporation rapide.

La prise de vapeur s'ouvre entre le dernier et l'avant-dernier diaphragme, le premier étant au haut du cylindre. Cette disposition tend à établir l'équilibre de température entre toutes les parties du cylindre, et à donner constamment de la vapeur à la tension que l'on désire. On marche ordinairement sous une pression de 5 à 10 atmosphères.

Et ici le hasard a servi merveilleusement cette invention, la température sous la pression de 10 atmosphères étant, en chiffres ronds, égale à + 181° centig.; or c'est à + 200° centig., d'après Baudrimont et autres expérimentateurs, que le fer possède sa plus grande ténacité (1).

Rien de plus simple que de faire fonctionner ce générateur. On introduit 3 à 4 litres d'eau au moyen d'une pompe à main et l'on chauffe(2). La pression monte en moins de trois quarts d'heure à 6 ou 7 atmosphères; alors on met la machine en route, et celle-ci actionne une pompe alimentaire dont la course est réglée pour la quantité d'eau que la chaudière peut évaporer.

(1) Voy. *Dictionnaire des arts et manufactures*, etc., 2e édit., par M. C. Laboulaye, art. CHAUDIÈRE A VAPEUR, par P. Debette.

(2) Dans l'origine, je chauffais à sec pour faire passer l'eau à l'état sphéroïdal; maintenant j'alimente avant que de chauffer pour obtenir le résultat contraire, et je l'obtiens.

Ce qui précède étant bien compris, on se fera facilement une idée juste de la puissance évaporatoire de ce nouveau générateur.

Voici ses dimensions et le résultat de quelques expériences que j'ai faites :

Hauteur totale au centre...........	$0^m,64$
— de la partie cylindrique.....	$0^m,54$
Diamètre.......................	$0^m,31$

Ce cylindre est en saillie, au-dessus du fourneau, de $0^m,05$, et l'épaisseur de la muraille dudit fourneau, à la partie supérieure, est de $0^m,10$, ensemble $0^m,15$ à déduire de la hauteur totale. Cette déduction faite, il sera très facile de calculer la surface de chauffe qui est approximativement de $0^{mq},55$ (1).

Le générateur dont la description précède est établi rue de Flandres, 41, à la Villette-Paris.

Voici maintenant la description de l'expérience dont il s'est agi :

Durée de l'expérience............	=	10 heures.
Quantité de houille brûlée........	=	61 kilogram.
Quantité d'eau évaporée..........	=	483 litres.
Température initiale de l'eau......	=	+ 20°
Pression.......................	=	8 atmosphères.

La houille employée dans cette expérience était de médiocre qualité et donnait à peine 6000 calories par kilogramme. Néanmoins j'adopterai ce chiffre pour discuter cette expérience.

D'après Morin, on ne doit compter que 0,60 d'effet utile, même dans les meilleurs fourneaux ; mais la plupart des autres ingénieurs n'admettent que 0,50, et j'adopte ce dernier chiffre parce que je le crois plus près de la vérité. Ainsi,

$$61 \text{ kilogr.} \times 6000 \times 0,50 = 183000 \text{ calories.}$$

Voyons maintenant combien de calories sont contenues dans 483 kilogr. d'eau évaporée sous une pression de 8 atmosphères.

$$483\,(550 + t - t') = 338583 \text{ calories.}$$

(1) $0^{m.q.},55$ de surface de chauffe dans les chaudières de l'ancien système doivent évaporer, en moyenne, 12 litres d'eau par heure sous la pression de 8 atmosphères. La chaudière dont il s'agit ici réduit en vapeur aussi en moyenne 48 litres dans le même temps et sous la même pression.

Le rapport de l'ancien système au nouveau est donc :: 1 : 4.

Dans cette formule

$$t = + 171° \text{ C.}$$

et

$$t' = + 20°,$$

donc :

Calories absorbées.......	338583
— produites.......	183000
— en plus........	155583

On voit d'un coup d'œil, par ce qui précède, que les données admises jusqu'ici ne sont plus applicables à cette chaudière, car elle donnerait de la chaleur au lieu d'en perdre, ce qui serait absurde.

Raisonnons donc sans tenir compte de la perte par le rayonnement et par la cheminée :

61 kilogram. de houille...... = 366000 calories.

et

483 kilogram. de vapeur...... = 338583 —

Perte absolue........ = 27417 calories.

qui correspondent à $4^{kil},56$ de houille en dix heures et $0^{kil},45$ par heure : moins d'un demi-kilogramme !

Il est douteux qu'on puisse obtenir jamais un résultat de beaucoup supérieur à celui-ci (1).

Si, au lieu de l'ancienne formule, on se sert de celle de M. Regnault,

$$K(606,5 + 0,305\, t),$$

les résultats ci-dessus sont un peu différents et quelque peu moins favorables à mon système de générateur, comme ils le seraient d'ailleurs à tous les autres générateurs. En effet, d'après l'ancienne formule pratique, 1 kilogramme de vapeur contiendrait 650 calories, et d'après la nouvelle, seulement 637, ce qui contitue une différence de 13 calories.

Ce nouvel appareil offre donc de véritables avantages : peu de masse, peu de volume, peu de combustible et beaucoup de vapeur,

(1) Un jeune ingénieur, M. A. Jametel, a proposé de chauffer un appareil analogue à celui-ci au moyen de l'hydrogène carboné, mais la pratique n'a pas encore sanctionné les vues ingénieuses de l'auteur.

et par-dessus tout, la sûreté de la chaudière, qui est inexplosible (1), ainsi que cela sera démontré plus loin.

Quant aux applications possibles de ce nouveau générateur, elles sont sans nombre: c'est une *force domestique*, et l'on peut dire que, du moment qu'elle sera adoptée, elle exercera une influence réelle sur la richesse du pays et sur le bien-être des classes laborieuses ; car ce sera, dans beaucoup de cas, une *force gratuite* quant aux générateurs qui ne dépasseront pas deux chevaux de force.

En effet, le foyer qui imprimera le mouvement aux outils de l'atelier donnera en même temps la chaleur nécessaire, dans tous les climats, à l'existence de l'ouvrier et de sa famille ; ce sera donc à la fois une source de dynamics et de calories avec un seul et même foyer.

Enfin, cette chaudière avec son fourneau peut être considérée comme un meuble facilement transportable, car le tout ensemble cube moins d'un mètre. C'est là un genre de mérite qui sera surtout apprécié par tous ceux qui manquent d'espace.

J'estime que cette chaudière peut rendre un cheval de force utile, soit 75 kilogrammètres par cheval ; mais je ne donne cette mesure qu'en faisant toutes mes réserves, voulant toujours rester dans les limites du vrai.

Voici quelques-unes des applications qui pourront être faites de ce nouveau générateur.

Dans les ateliers : mouvement des meules, des tours, des scies circulaires ou autres, des marteaux, des machines à polir, des souffleries, des ventilateurs, etc.

Dans les usines : pilons, tamis, blutoirs, métiers à tisser et autres.

Dans les rades, sur les fleuves et les canaux : propulsion des petits bateaux à vapeur, des embarcations non pontées, traction des chalands, etc.

(1) Autant du moins qu'une chaudière à vapeur peut l'être. On comprend bien que l'inexplosibilité d'une chaudière à vapeur ne saurait être absolue, mais seulement relative, car sa résistance est limitée, et la force que le foyer engendre illimitée. On pourra donc toujours, quand on le voudra, faire *explosionner* une chaudière à vapeur.

Ventilation des bâtiments de guerre, des grands navires marchands; chargement et déchargement des marchandises à bord des navires; manœuvres de bord.

Ventilation des hôpitaux et des grands édifices.

Dans les fermes : pompes, machines à battre, à vanner, à cribler, à hacher, à concasser, à moudre, etc.

L'application de ce système aux grandes chaudières est à l'étude; si elle réussit, comme je l'espère, ne pourrai-je pas dire alors que la vapeur entrera dans une phase toute nouvelle (1)?

Légende explicative de la figure 12.

La figure 12 ci-contre représente une coupe verticale de notre chaudière et de tous ses organes. Au-dessous, on voit un des diaphragmes en plan.

CC, chaudière fermée par un couvercle boulonné;
A, tuyau d'alimentation de l'eau;
VV, tuyau de prise de vapeur;
T, tuyau de trop-plein de vapeur;
PPP, purgeur ou reniflard;
DDDDDDD, diaphragmes alternativement convexes et concaves percés de trous, comme on le remarque sur le diaphragme mis en plan;
E, tuyau d'épreuve;
SS, soupape;
M, manomètre.

Cette légende descriptive est celle du générateur qui a servi à toutes les expériences préliminaires. Quelques changements suggérés par l'expérience ont été apportés à ce générateur, quoique toujours le même au fond. Ainsi, le trop-plein de vapeur T doit être sur le couvercle de la chaudière, et non sur le tuyau de prise

(1) Un premier Mémoire sur cette chaudière a été imprimé dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, n° DLXXX, p. 727, et dans les *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, London, vol. XI, part. 1, p. 392. L'année suivante, cette institution célèbre décernait à l'auteur la médaille de Telford, et inscrivait son nom sur la liste de ses associés.

Les résultats que l'on obtient aujourd'hui avec la même chaudière sont de beaucoup supérieurs à ceux que l'on obtenait alors, et qui pourtant avaient été jugés dignes d'un grand intérêt.

La Société d'encouragement, dans sa séance du 9 janvier 1856, a entendu et adopté les conclusions d'un rapport favorable sur cette chaudière, par M. Callon, au nom du comité des arts mécaniques. On trouvera plus loin le rapport de ce savant.

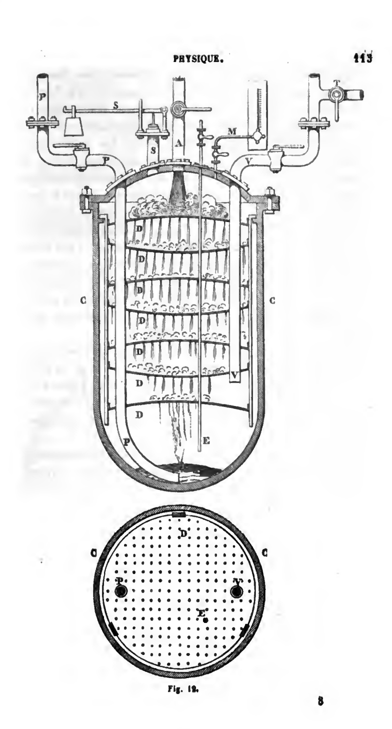


Fig. 12.

de vapeur; le niveau de l'eau peut être beaucoup plus élevé, ce qui permettrait d'établir au centre de la chaudière un flotteur avec un sifflet d'alarme. Les diaphragmes sont au nombre de dix : ce sont des disques à bords relevés percés alternativement d'un ou de deux trous, comme on le verra plus loin. Ces diaphragmes peuvent contenir 2 litres d'eau, ce qui augmente encore la sûreté de cet appareil : car, à supposer que le fond de la chaudière vienne à rougir, l'eau ne pourra le mouiller que lorsqu'il sera refroidi, au moins en partie, la vapeur ne pouvant se former qu'aux dépens de la chaleur de la chaudière. (Voiyez plus loin la discussion de ce fait au moyen de la formule *mct.*) Des expériences en cours d'exécution autorisent à penser que l'ouverture du tuyau de prise de vapeur V aux deux tiers de la chaudière a été un pas en arrière, et qu'il est préférable de prendre la vapeur au sommet de la chaudière, ainsi que cela se pratiquait dans l'origine.

Enfin, dans l'origine, nous chauffions la chaudière à sec; maintenant nous alimentons avant la mise en feu, en sorte qu'il devient impossible que l'eau passe à l'état sphéroïdal. Tels sont les changements de détail que cette chaudière a subis; elle en subira peut-être encore, les instruments nouveaux ne se perfectionnant que par l'usage.

La gravure ci-contre (figure 13) représente une vue perspective de la chaudière dans son fourneau et de la machine à vapeur qu'elle met en mouvement.

Du degré de sûreté de la chaudière à diaphragmes.

Quand un moteur se présente à l'industrie avec des formes entièrement nouvelles, et que ce moteur s'appelle vapeur, on lui adresse beaucoup de questions avant que de lui accorder droit de cité, et l'on a raison. On lui demande : Dépensez-vous moins de charbon? Produisez-vous plus de vapeur? est-elle sèche et saturée? Le prix du nouvel appareil, toutes proportions gardées, est-il moins élevé que celui des appareils qui l'ont précédé? et enfin ses chances d'explosion sont-elles plus grandes, sont-elles égales ou

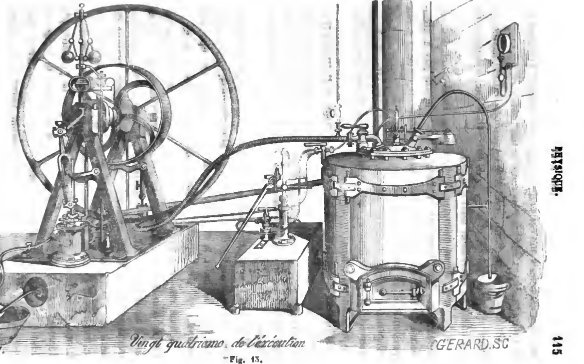


Fig. 13.

moins nombreuses que celles des autres générateurs ? Tels sont les points principaux sur lesquels roule la discussion.

Disons-le tout de suite : toutes ces questions ont été agitées en Amérique, à Londres, et à Paris, et le résultat final a toujours été favorable au générateur dont il s'agit.

A Londres, il eut de rudes adversaires et aussi de chaleureux défenseurs ; j'en citerai un, Faraday, qui n'hésita pas à abandonner ses savantes recherches pour venir le protéger de sa parole puissante et de son vaste savoir au sein de l'*Institution of Civil Engineers*. Je prie l'illustre physicien de me permettre de le remercier ici, publiquement et du fond du cœur, de son bienveillant et puissant patronage.

Maintenant j'entre en matière. Je serai bref, et d'ailleurs il ne sera question dans cette discussion que des chances d'explosion de mon générateur, qui seraient nulles, à mes yeux, s'il n'y avait pas encore beaucoup d'inconnues à dégager des chaudières à vapeur.

Moi aussi, j'ai questionné le générateur dont il s'agit, et chaque question était suivie des épreuves les plus risquées, et jamais je n'ai eu à signaler le moindre accident. Voici une des épreuves auxquelles il a été soumis, et bien malgré moi, je dois le dire.

A mon retour d'Angleterre, voulant recommencer, en vue de l'exposition universelle, toute la série d'expériences que j'avais faites antérieurement, je fis installer ma chaudière près d'une machine à vapeur, et, sachant que les diaphragmes avaient été nettoyés à fond avant mon départ, je négligeai de l'examiner. J'y introduisis de l'eau et je chauffai comme à l'ordinaire. Une demi-heure, une heure et plus s'écoula sans que la pression pût dépasser une atmosphère : il n'y avait pas de fuites, le tirage se faisait bien, la grille était dégagée de scories, le charbon était blanc, tout allait au mieux ; mais de pression, point. Je ne savais à quoi attribuer ce résultat aussi étrange que nouveau pour moi, et plus j'en cherchais l'explication, moins je la trouvais, lorsque mon attention fut attirée par une matière jaune, transparente, qui suintait à travers les joints des robinets. Je recueillis cette matière qui se solidifia presque aussitôt ; elle avait extérieurement tous les

caractères du soufre. Je fis ouvrir la porte du fourneau et jeter le feu par terre : la chaudière était rouge de feu par le fond.

Le lendemain, je démontai cette chaudière, et, à notre grand étonnement à tous (ce fait a eu beaucoup de témoins), nous trouvâmes les diaphragmes et la chaudière corrodés et recouverts de la matière que j'ai déjà signalée ; nous en retirâmes plus d'un kilogramme. J'analysai immédiatement cette matière : c'était du chlorure de calcium mêlé à du bichlorure de fer.

Il était évident, pour moi, que j'avais affaire au résidu de l'extraction de l'acide carbonique au moyen du carbonate de chaux et de l'acide chlorhydrique ; mais comment ce résidu était-il entré dans la chaudière ? Je n'ai pu le savoir, et probablement que je ne le saurai jamais.

Essayons maintenant de prouver que ce générateur n'offre pas plus de chances d'explosion que les autres ; je dirais dès à présent qu'il en a moins, si un juste sentiment de défiance de moi-même ne m'imposait la plus grande réserve à cet égard.

Il existe un grand nombre de causes d'explosion des chaudières à vapeur ; quelques-unes sont bien connues, d'autres offrent encore quelques points obscurs que le temps et l'étude dissiperont (1).

Dans la chaudière dont il s'agit, deux de ces causes seulement sont à examiner.

1° Le défaut et l'excès d'alimentation ;

2° La décomposition de l'eau contre les parois rouges de la chaudière.

Le défaut d'alimentation peut avoir des inconvénients, mais il n'a pas de danger. En effet, si l'alimentation vient à être suspendue, la vapeur fournie par la chaudière décroîtra très vite ; elle se videra entièrement en peu de temps, et la machine s'arrêtera. On sera donc averti presque immédiatement de cet acident, et l'on y remédiera au moyen d'une pompe alimentaire, etc. Si tout moyen d'alimentation est devenu impossible, on éteint le feu, et l'on procède aux réparations.

(1) J'ai discuté précédemment la cause de ces explosions fulminantes des chaudières à vapeur (voy. pages 55 et suivantes).

Mais on pourra objecter que la chaudière, étant entièrement vide, rougira rapidement, au moins par le fond, et que l'introduction de l'eau, dans cet état, pourrait être fort dangereuse; heureusement, il n'en est point ainsi.

La chaudière peut rougir par le fond, cela est vrai, mais les diaphragmes ne rougiront pas, et c'est sur les diaphragmes que l'eau tombe et s'évapore principalement; l'équilibre se rétablira donc rapidement, et il n'y aura aucun danger pour l'expérimentateur. On comprendra cela d'ailleurs facilement en se rappelant l'énorme quantité de chaleur latente contenue dans la vapeur et le peu de capacité du fer pour le calorique.

Examinons ce point plus particulièrement et montrons par des chiffres que les choses se passent comme cela vient d'être exposé brièvement.

La capacité calorifique du fer = 0,11, celle de l'eau étant 1.

Le nombre de calories contenues dans la vapeur d'après la formule de M. Regnault est de

$$(606,5 + 0,305\ t) = 637.$$

Le pouvoir calorifique de la houille = 7000, mais comme il faut déduire de 10 à 20 pour 100 de matières étrangères, en moyenne 15, ce pouvoir calorifique doit être abaissé à 6000 calories.

Le fourneau brûle, en moyenne, 6 kilogrammes de houille par heure, soit 36,000 calories produites, dont le $\frac{1}{6}$ environ est perdu par la cheminée et le rayonnement du fourneau; il ne reste donc que 30,000 calories utiles par heure ou 500 par minute. La chaudière étant à sec et chauffée pendant cinq minutes ne pourra donc absorber que 2500 calories. Admettons, et c'est le cas le plus défavorable pour la chaudière, admettons, dis-je, que ces 2500 calories soient absorbées par 50 kilogrammes de fer à la partie inférieure du générateur, et c'est à peine si ce fer pourra être porté à la température de + 500° C. En effet, pour élever un kilogramme de fer à + 500° C., il faudrait un nombre de calories égal à ;

$$500 \times 0,11 = 55;$$

et conséquemment, pour 50 kilogrammes :

$$55 \times 50 = 2750 \text{ calories.}$$

Il y a dans la chaudière dix diaphragmes de tôle de 1 à 2 millimètres d'épaisseur qui peuvent retenir 2 kilogrammes d'eau ; c'est-à-dire que l'eau ne peut être mise en contact avec la chaudière avant qu'on n'y en ait introduit plus de 2 kilogrammes.

Maintenant nous pouvons calculer, avec ces données, les chances d'explosion que présentera ce générateur.

Nous supposons la machine marchant régulièrement, donnant 60 coups doubles de piston par minute; puis il arrive, sans qu'on s'en aperçoive, que la bâche est vide d'eau ou que les clapets sont dérangés et ne fonctionnent plus, ou que la pompe est déclanchée, etc. Bref, l'alimentation ne se fait plus. Au bout d'un certain temps le mouvement de la machine se ralentit sans que sa charge ait été augmentée ; il se ralentit de plus en plus, et la machine finit enfin par s'arrêter, le manomètre étant descendu à 0°. Le ralentissement du mouvement de la machine n'ayant pas été remarqué, on doit supposer que son état de repos absolu le sera, et que l'on s'empressera d'envoyer de l'eau dans la chaudière au moyen de la pompe à main. Que se passera-t-il alors? Le voici. Admettons 50 kilogrammes de fer (et c'est beaucoup) à la température de + 500° C. ; ces 50 kilogrammes de fer contiendront *mct* calories, soit

$$50 \times 0{,}11 \times 500 = 2750 \text{ calories}$$

qui pourront réduire en vapeur 4^{kil}, 310 d'eau, un peu moins de 4 litres et demi. Or nous avons vu que la somme de la capacité des diaphragmes était de 2 litres, et nous devons admettre que l'évaporation de l'eau doit commencer sur le premier diaphragme, aux dépens de la chaleur contenue dans les parois de la chaudière, et se continuer jusqu'au dernier. Si donc il en est ainsi, et il en est ainsi, il faut admettre encore qu'il n'arrivera pas une seule goutte d'eau au fond de la chaudière avant que d'en

avoir introduit 4 litres qui absorberont 2548 calories. Où serait le danger alors? Nulle part, car il ne resterait à absorber que 202 calories (1), qui réduiraient tout au plus un tiers de litre d'eau en vapeur.

Je prie le lecteur de vouloir bien le remarquer, je me suis placé dans des conditions impossibles, pour ainsi dire. Car il n'y a pas un chauffeur, à moins que d'être trois fois stupide, qui, voyant sa machine s'arrêter et le manomètre à 0°, ne s'empresse d'ouvrir la porte du fourneau et de jeter le feu par terre, pour chercher la cause du temps d'arrêt et y remédier immédiatement, si c'est possible.

Je ferai remarquer d'ailleurs que ce générateur sera muni de tous les appareils de sûreté ou avertisseurs actuellement en usage,

(1) L'expérience a été faite plusieurs fois. Voici les détails de la dernière :

Pression	8 atmosph.
Déclanché la pompe à	2 h. 25
Ouvert le tube d'évacuation à....	2 h. 35
La chaudière est vide à	2 h. 38
La machine s'arrête d'elle-même à.	2 h. 39
Pression....................	1/2 atmosph.

La porte du fourneau reste fermée, et tous les robinets restent ouverts, comme s'il n'y avait personne dans l'atelier.

J'envoie 2 litres d'eau dans la chaudière au moyen de la pompe à main, à.........................	2 h. 44
Trois minutes après la pression est de	4 atmosph.
La machine se met d'elle-même en route à..........	2 h. 46
J'introduis encore 2 litres d'eau dans la chaudière; il est.................................	2 h. 51
Pression......................................	4 1/2 at.
J'enclanche la pompe, et à	2 h. 53
la pression est remontée à son point de départ	8 atmosph.

Puis la machine a continué à marcher comme devant.

Ce qu'il faut remarquer dans cette expérience, c'est que la chaudière entièrement vide a été exposée à l'action du foyer pendant cinq minutes, et cinq minutes sont bien longues dans ces sortes d'expériences.

Au reste, s'il n'y a personne dans l'atelier pour surveiller la machine et l'alimentation de la chaudière, il n'y aura personne non plus pour charger le foyer, et son intensité ira toujours diminuant; d'où il suit que le danger est véritablement nul.

ce qui lui donnera un degré de sûreté, à mon avis, tout à fait satisfaisant (1).

Quelques mots suffiront pour montrer que l'excès d'alimentation est tout à fait insignifiant.

Pour comprendre qu'il en est ainsi, il faut se rappeler que la prise de vapeur se trouve au fond de la chaudière entre le dernier et l'avant-dernier diaphragme. Si donc l'alimentation dépasse une certaine limite, la chaudière enverra de l'eau dans le récepteur, et la machine s'arrêtera. Pour remédier à cet accident, il suffira de suspendre l'alimentation pendant quelques minutes, ou bien on ouvrira le robinet du purgeur, et l'équilibre se rétablira tout aussitôt. Dans l'un et l'autre cas, on diminuera l'alimentation soit en raccourcissant la course du piston de la pompe alimentaire, soit en déclanchant la pompe, etc., etc.

Examinons maintenant la deuxième cause d'explosion, la décomposition de l'eau contre les parois rouges de la chaudière.

Cette cause d'explosion est la seule qui m'ait donné quelques inquiétudes ; mais elles se sont bien vite dissipées.

On sait que 2 volumes de vapeur d'eau résultent de la combinaison de 2 volumes d'hydrogène et de 1 volume d'oxygène. Si donc l'eau vient à être décomposée, l'oxygène se fixe sur le fer, et l'hydrogène mis en liberté remplace la vapeur, et la tension reste à peu près la même ; il n'y a donc pas d'explosion possible par suite de la décomposition de l'eau.

L'égalité suivante résume clairement ce qui précède :

$$6 \text{ vol. de vapeur} + Fe^2 = 6 \text{ vol. } H + Fe^2O^3.$$

Fe^2O^3 est, comme on sait, le peroxyde de fer ; inutile d'ajouter qu'il est solide et indécomposable par la chaleur, mais réductible par l'hydrogène. En éliminant Fe^2O^3, il reste

$$6 \text{ vol. vap.} = 6 \text{ vol. hydr.}$$

(1) Dans un Mémoire que j'ai eu l'honneur d'adresser au jury de l'Exposition universelle, en 1855, je disais que cette chaudière « *offrait une sûreté* » *relative si grande, qu'on pouvait la considérer comme absolue.* »

Des expériences nombreuses, faites depuis cette époque, m'autorisent à persister dans cette opinion.



Je crois devoir dire ici que la théorie qui précède a été confirmée par l'expérience et son exactitude nettement établie : deux chaudières de bronze ont été fondues et une chaudière de fer a été portée à une température telle, qu'un robinet de cuivre (celui de la prise de vapeur), placé sur le couvercle de la chaudière, *s'est recouvert de bioxyde*, mais pas le moindre accident n'est survenu.

Abordons maintenant un autre point de la question, toujours au point de vue des dangers de l'appareil.

En admettant que notre générateur puisse faire explosion (ce qui, soit dit en passant, le placerait sur la même ligne que tous les générateurs connus), on comprendra sans peine qu'il serait dix fois moins dangereux qu'une autre chaudière, par la raison toute simple qu'il contiendrait dix fois moins d'eau : c'est quelque chose comme le rapport d'une grenade à un obus ; et puis, les diaphragmes deviendraient, dans le cas d'explosion, de véritables appareils de sûreté faisant l'office d'écrans ou d'estacades qui se briseraient successivement jusqu'à ce que la quantité de mouvement contenue dans l'eau fût équilibrée ou absorbée. Mais tout cela se passerait dans l'intérieur de la chaudière, sans danger pour les personnes qui seraient dans son voisinage.

On trouve une autre cause de sûreté et aussi d'économie de combustible dans le dépôt des sels calcaires, qui se fait toujours sur les diaphragmes. Ce dépôt est très abondant sur le diaphragme supérieur, un peu moins sur le second..... et il n'y en a presque pas sur le dernier. Ce fait est conforme aux belles observations de M. Cousté qui le confirment de tout point (1).

Ce phénomène peut être mis en relief par une expérience très simple. On prend un tube de verre de quelques millimètres de diamètre, de 10 à 15 centimètres de longueur, et pouvant résister à la pression de 10 à 12 atmosphères ; on le remplit aux trois quarts d'eau de puits, on l'étire à la lampe et on le scelle. Cela fait, on le saisit avec une petite pince de bois, et on le chauffe

(1) *Recherches sur l'incrustation des chaudières à vapeur*, par M. E. Cousté, e Rapport par M. Callon sur ce Mémoire (*Annales des mines*, t. V, 1854).

avec précaution dans la flamme d'une lampe à alcool, et l'eau se trouble presque aussitôt (1).

Le précipité qui se forme, sous l'influence de la chaleur et de la pression, est dans un état moléculaire particulier, car il ne se dissout pas de nouveau, même après six mois de contact.

Il y a un autre fait qui ne doit pas être passé sous silence, c'est la stabilité du manomètre.

On se rappelle que la prise de vapeur a lieu aux deux tiers de la chaudière, c'est-à-dire plus près du fond que du couvercle, et que l'alimentation se fait par la partie supérieure, dans le voisinage du robinet du manomètre.

Comment expliquer la stabilité presque complète du manomètre avec la loi de tension de la vapeur que je transcris de nouveau : *Dans un espace inégalement chaud, quand l'équilibre est établi, la tension de la vapeur est la même dans tous les points, et partout elle est égale à la tension maximum des parties de cet espace qui sont à la température la plus basse?*

D'après cela, chaque coup de piston de la pompe alimentaire devrait faire du vide en condensant la vapeur à la partie supérieure de la chaudière, et l'amplitude des oscillations de la colonne manométrique devrait être très grande; mais, comme je l'ai dit, il n'en est rien. La loi n'est donc pas entièrement applicable à notre système de générateur.

Somme toute, si le générateur de vapeur à diaphragmes ne vaut pas mieux que les autres sous le rapport de la sûreté, qu'il me soit permis de dire qu'il ne vaut pas moins, et, comme il comble une lacune qui existait dans l'industrie, j'ai l'espoir qu'il finira, comme toutes les choses utiles, par prendre sa modeste place au soleil.

Puissé-je vivre assez pour voir mes espérances se réaliser!

Je terminerai ce chapitre en jetant un coup d'œil en arrière et ensuite devant nous, pour montrer qu'il est presque toujours téméraire de vouloir fixer des limites à la science pure, aussi bien qu'à ses applications.

(1) Cette expérience constitue un procédé rapide et approximatif d'analyse quantitative des eaux qui contiennent des sels calcaires en dissolution, particulièrement le carbonate et le sulfate.



Il y a quelques années, il était expressément ordonné d'adapter à toutes les chaudières des rondelles métalliques, fusibles à une température voisine de celle correspondant à la pression ; eh bien ! aujourd'hui on ne s'en sert plus, et je crois qu'on a grandement raison.

Il est expressément défendu, à l'heure où j'écris, de laisser tomber le niveau de l'eau dans les chaudières, au-dessous de la limite supérieure des carneaux, et c'est une prescription que tout le monde trouve fort sage en ce moment, mais l'expérience et le temps ne feront-ils pas changer d'avis à cet égard ? Quant à moi, je le crois et je l'espère, car ce serait un bienfait pour l'industrie qui y trouverait une certaine économie de combustible en produisant de la vapeur plus sèche et en plus grande abondance par suite d'une absorption plus complète de la chaleur contenue dans les gaz chauds provenant du foyer.

L'usage, en perfectionnant la chaudière à diaphragmes et en établissant sa sûreté, contribuera peut-être à hâter l'époque où il sera permis d'abaisser le niveau de l'eau dans les chaudières horizontales pourvues de diaphragmes, sans danger pour quoi ou pour qui que ce soit ; et je serais heureux, je l'avoue, d'avoir pu contribuer, pour ma faible part, à un tel résultat.

Théorie du générateur de vapeur à diaphragmes.

On se rappelle que cette chaudière est cylindrique et terminée par une calotte sphérique, qu'elle ne contient de l'eau que jusqu'au tiers environ de sa hauteur, conséquemment que la plus grande partie de sa surface intérieure *est à sec* d'eau, et que le pouvoir évaporatoire des chaudières à bouilleurs comparé au sien est :: 1 : 4. Abaissons le second terme de la proportion, et disons qu'il est :: 1 : 3, car il est toujours préférable de donner plus qu'on ne promet.

Cela posé, examinons comment les choses se passent dans l'intérieur de la chaudière.

La vapeur qui se forme au fond de la chaudière par l'action directe du foyer fait l'office d'un courant d'air : elle se surchauffe

contre la paroi cylindrique, et tout aussitôt se sature sur le premier diaphragme; revient plus abondante contre la paroi, où elle se surchauffe de nouveau pour se saturer une seconde fois sur le second diaphragme; et ainsi de suite, jusqu'au sommet de la chaudière où elle arrive en grande abondance dans un état de sécheresse et de saturation complètes. Il est certain que les choses se passent ainsi, comme il est certain que les parois de la chaudière ne sauraient rougir; pour s'en convaincre, il suffit de se rappeler la capacité calorifique du fer et celle de l'eau, et l'énorme quantité de *calorique statique* (latent) contenu dans la vapeur. (Voyez plus haut : *Du degré de sûreté de la chaudière à diaphragmes.*)

Cette théorie, fort simple, n'est pas contestable, pas plus que la grande quantité de vapeur que donne ce générateur. Mais comment se fait-il que dans un temps donné, il passe dans cette chaudière trois fois plus de chaleur que dans les autres; car pour produire trois fois plus de vapeur, il faut nécessairement trois fois plus de chaleur ? Là est la difficulté, et elle est grande. A cet égard, on ne peut formuler en ce moment que des hypothèses fondées :

1° Sur la capillarité, qui est une force ;

2° Sur l'eau considérée comme mauvais conducteur de la chaleur ;

3° Sur le fer considéré relativement comme un excellent conducteur de la chaleur;

4° Sur la propriété adiathermane de l'eau ;

5° Enfin, sur la propriété diathermane des gaz et des vapeurs, et sur leur grande mobilité.

Considérons maintenant la chaudière dépouillée de ses diaphragmes, pleine d'eau aux trois quarts, et soumise par le fond à l'action directe du foyer, et par la partie supérieure à l'action de la flamme ou des gaz chauds.

On verra tout d'abord des courants ascendants partant principalement de la base et se dirigeant vers la partie supérieure de la chaudière, en se croisant dans tous les sens avec les courants, moins nombreux et moins rapides, qui partiront de la partie cylindrique de la chaudière. Bientôt après, des bulles de vapeur se

détacheront du fond de la chaudière et viendront crever à la surface de l'eau qui sera alors en pleine ébullition.

Mais pour détacher cette eau de la paroi de la chaudière, il faut dépenser une quantité de force précisément égale à celle qui la retient contre cette paroi, et c'est cette adhérence qui constitue la *force capillaire* ou simplement la *capillarité*. Dans le cas particulier qui nous occupe, il serait préférable de l'appeler *force d'adhésion*. Nous manquons d'ailleurs absolument de moyens pour mesurer cette force, au moins dans le cas qui nous occupe. Nous ne la mentionnons donc que pour mémoire et pour appeler l'attention des savants sur ce point.

Si les choses se passent dans cette chaudière comme nous le verrons dans la 65° expérience, *elle serait froide par le fond*, et il faudrait admettre que la chaleur passe à travers la paroi, dans cette partie, avec une vitesse infinie, ou tout au moins assez grande, pour n'avoir pas le temps de se combiner avec le fer et passer tout entière dans l'eau qu'elle transforme en vapeur.

Pour bien comprendre ce fait, il faut se rappeler que les parties où se forme la vapeur en abondance sont à sec, ce qui permet à la chaleur d'entrer librement dans la chaudière; il faut se rappeler encore que les parties d'une chaudière soumises au rayonnement du foyer produisent trois fois plus de vapeur que les autres parties.

Néanmoins, d'après les données généralement admises, notre générateur, privé de ses diaphragmes, ne devrait évaporer que 12 à 15 litres d'eau par heure, et l'expérience nous a appris qu'avec ses diaphragmes il en évaporait trois fois plus ; et cependant le fer conserve sa propriété conductrice dans l'un et l'autre cas : c'est donc à une action particulière de l'eau qu'il faut attribuer le retard dans la production de la vapeur.

On sait que l'eau est un très mauvais conducteur de la chaleur, et aussi qu'elle est adiathermane, c'est-à-dire qu'elle se laisse traverser imparfaitement par la chaleur rayonnante, et point du tout quand elle est à l'état sphéroïdal ; on sait encore que les gaz et les vapeurs sont au contraire diathermanes ou se laissent traverser facilement par la chaleur rayonnante.

Donc, en considérant la chaudière comme nous venons de la voir, dépourvue de ses diaphragmes, on pourrait dire que la chaleur, rencontrant une lame d'eau contre la paroi intérieure de la chaudière, se réfléchirait et retournerait à l'extérieur où elle se perdrait par rayonnement ou par la cheminée. Ce mouvement de va-et-vient des ondes calorifiques se produirait un grand nombre de fois, mais à chaque retour il y aurait perte de chaleur par le rayonnement et par la cheminée.

C'est ainsi qu'une vague qui vient se briser contre une jetée de pierre est réfléchie et retourne au large, pour revenir et retourner encore en perdant chaque fois une certaine quantité de mouvement. On peut vérifier ce dernier fait expérimentalement. On remplit d'eau un vase cylindrique peu profond, et on y laisse tomber une goutte d'eau, qui fait onduler toute la surface du centre à la circonférence, et de la circonférence au centre. Quand on n'aperçoit pas les ondes à la surface, on les voit se dessiner nettement au fond du vase, par suite de leur action sur la lumière qu'elles réfractent et réfléchissent.

Considérons maintenant la chaudière pourvue de ses diaphragmes et nous verrons tout autre chose. La chaudière étant vide d'eau, les ondes calorifiques traverseront sa paroi sans obstacle, et une fois entrées dans la chaudière, elles n'en sortiront plus qu'après s'être combinées avec l'eau, c'est-à-dire sous forme de vapeur.

Si notre manière de voir est erronée, elle a du moins le mérite d'une grande simplicité. On peut la résumer ainsi :

Dans une chaudière pleine d'eau, réflexion des ondes calorifiques ;

Dans une chaudière vide d'eau, mais pleine de vapeur, passage sans obstacle des ondes calorifiques à travers les parois de la chaudière, par suite du transport rapide de la chaleur de la chaudière à l'eau des diaphragmes au moyen de la vapeur (1).

(1) Les ondes calorifiques ne sont pas visibles ; il en est ainsi pour beaucoup d'autres phénomènes qu'il faut voir avec les yeux de l'esprit et non avec ceux du corps. Ce que nous disons là est applicable à des faits même très matériels. Exemple : le fouet ou volant du rouage d'une montre à secondes indépendantes accomplit sa révolution dans un temps si court, qu'on ne sau-



Tel est l'essai de théorie que nous soumettons au jugement des lecteurs de cet ouvrage, en les priant d'en formuler une autre, s'ils la croient inadmissible. (Voyez la 3e partie de cet ouvrage, § V.)

Laissons maintenant la parole aux organes officiels du jury internatioual et de la Société d'encouragement, MM. les professeurs Tresca et Callon.

Rapport de M. Tresca au nom du Jury international.

« Les travaux scientifiques de M. Boutigny (d'Evreux) (n° 972) à la Villette-Paris (France), sur les propriétés de l'eau à l'état sphéroïdal, sont bien connus; ils ont donné lieu à quelques recherches sur la production de la vapeur au contact des surfaces métalliques fortement chauffées. Cependant la chaudière exposée par M. Boutigny se rapproche beaucoup des chaudières verticales ordinaires, en ce sens qu'elle est remplie d'eau sur une partie de sa hauteur : l'eau d'alimentation est projetée par la partie supérieure, sur des diaphragmes percés de trous et maintenus au-dessus du niveau à une température assez élevée; l'eau se dépouille à leur contact des matières incrustantes qu'elle contient, et ne peut plus par conséquent former de dépôt ailleurs. Une chaudière de ce système, employée par M. Boutigny à la Villette, nous a donné, dans une expérience, une production de 123 kilogrammes à 8 atmosphères pour 13 kilogrammes de combustible; il est vrai que l'eau d'alimentation, était entretenue chaude au moyen de la condensation. Malgré cette grande production, la vapeur sortait sèche; et cette petite chaudière a paru surtout remarquable en ce que, dans ces conditions, chaque mètre carré de surface de chauffe a produit plus de 80 kilogrammes de vapeur par heure. Une chaudière de ce système

rait l'apercevoir, même en regardant avec l'attention la plus soutenue; et l'on ne peut s'assurer de son existence qu'en mettant sur sa route un stylet contre lequel il vient buter. Le stylet enlevé, le volant part de nouveau, et on ne le voit plus qu'à l'endroit où il s'arrête pour opérer le repos de la seconde, mais il n'en accomplit pas moins sa révolution, et cela en beaucoup moins de 1/300 de minute. M. H.-R. Pasquier, horloger à Tours, m'a souvent rendu témoin de ce fait intéressant.

aurait donc des dimensions extrêmement réduites. En attendant que l'expérience ait prononcé sur les conditions pratiques de cet appareil, le jury décerne à M. Boutigny, pour l'ensemble de ses travaux, une médaille de deuxième classe. »

Rapport fait par M. Callon, au nom du Comité des arts mécaniques de la Société d'encouragement, sur un nouveau générateur de vapeur, présenté par M. Boutigny (d'Évreux).

« M. Boutigny (d'Évreux), a présenté à la Société, et vous avez renvoyé à votre Comité des arts mécaniques, un générateur d'un nouveau système qui vous est déjà connu par la description accompagnée d'un dessin qui en a paru dans le *Bulletin.*

» Le but que l'auteur s'est proposé dans ce générateur est d'obtenir, *sous un petit volume*, une puissance d'évaporation relativement considérable, c'est-à-dire l'équivalent d'*une grande surface de chauffe de chaudière ordinaire.*

» A cet effet, la chaudière, composée d'un cylindre vertical fermé par un couvercle boulonné, sur lequel sont adaptés tous les organes ordinaires d'une chaudière (prise de vapeur, tuyau d'alimentation, soupapes, etc.), est munie, à l'intérieur, d'un certain nombre de diaphragmes métalliques superposés, percés de trous à travers lesquels l'eau d'alimentation tombe en pluie d'un diaphragme sur l'autre.

» Ces diaphragmes, chauffés en partie par le contact et surtout par le rayonnement du corps de la chaudière, produisent une vaporisation rapide qui se complète immédiatement au contact de chaque goutte d'eau avec le fond de la chaudière.

» La chaudière est donc toujours à peu près vide d'eau ; par suite, ses parois atteignent une température élevée, qui se transmet aux diaphragmes, et de ceux-ci à l'eau, comme il vient d'être expliqué.

» M. Boutigny a fait connaître, dans la description déjà citée, les détails d'une expérience qu'il a faite sur sa chaudière. Votre Comité en a fait une semblable, qui a été prolongée pendant près de six heures, en prenant toutes les précautions possibles pour obtenir le poids du combustible réellement consommé et mesurer

directement l'eau d'alimentation, et en ayant soin, d'ailleurs, de s'assurer fréquemment, par l'ouverture d'un robinet, que la vapeur produite avait tous les caractères d'une vapeur convenablement sèche. Sur notre demande, M. Boutigny a répété le lendemain l'expérience, en suivant la même marche, mais avec la précaution de pousser moins vivement le feu, et en ayant, d'ailleurs, l'avantage d'avoir le fourneau encore chaud de la veille.

» Enfin, pendant les travaux du jury international, il a été fait sur les appareils admis à l'Exposition de 1855 un grand nombre d'expériences. La chaudière qui nous occupe est un des appareils expérimentés, et notre collègue M. Tresca, sous la direction duquel l'expérience a été faite, a bien voulu nous en faire connaître le résultat, qui a valu à M. Boutigny une médaille de 2e classe.

» Les faits obtenus par ces diverses expériences se résument dans le tableau suivant :

	1re EXPÉRIENCE de M. Boutigny.	EXPÉRIENCE du comité.	2e EXPÉRIENCE de M. Boutigny.	EXPÉRIENCE faite à l'Exposition
Surface de chauffe de la chaudière..........	0^{m},55	0^{m},55	0^{m},55	0^{m},55
Nombre des diaphragmes...............	5	7	7	10
Durée de l'expérience..	9^{h}	5^{h}30^{m}	10^{h},30^{m}	2^{h}28^{m}
Charbon consommé par heure.............	9^{kil}	8^{kil},9	5^{kil},66	5^{kil},27
Eau vaporisée par heure	39^{kil}	42^{kil}	39^{kil},85	54^{kil},5
Eau vaporisée par kilogramme de charbon..	4^{kil},33	4^{kil},7	6^{kil},9	10^{kil},4
Eau vap. par mètre carré de surface de chauffe et par heure........	71^{kil}	70^{kil}	77^{kil}	101^{kil},0
Charbon consommé par heure.............	16^{kil},4	16^{kil}	10^{kil},3	9^{kil},6
Pression moyenne observée.............	10$^{atm.}$	7^{atm},1	7	7^{atm},28

» L'examen de ce tableau donne lieu à plusieurs observations. On voit d'abord que, dans les deux premières expériences, on a poussé le feu trop vivement, eu égard à l'étendue de la surface de

chauffe, et que les produits de la combustion n'ont pu être suffisamment dépouillés de leur chaleur; de sorte que la chaudière, si elle a produit une assez grande quantité de vapeur *par mètre carré de surface de chauffe*, a eu, au contraire, un rendement assez faible *par kilogramme de houille consommée;* en d'autres termes, qu'elle a donné *des résultats économiques médiocres*, comme le ferait, du reste, toute chaudière soumise à de semblables conditions. Au contraire, lorsqu'on a poussé le feu lentement, c'est-à-dire de manière à ne pas brûler plus de 9 à 10 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe, qu'on a opéré avec un fourneau déjà chaud, et surtout quand on a, par l'augmentation du nombre des diaphragmes, réalisé l'équivalent d'une augmentation de surface de chauffe, on a fonctionné d'une manière très satisfaisante.

» En résumé, il paraît établi que si la chaudière de M. Boutigny ne doit pas être regardée, en principe, comme un appareil susceptible de donner des résultats supérieurs au point de vue de l'économie du combustible, elle peut du moins réaliser, sous un petit volume et sans désavantage, un pouvoir de vaporisation égal à celui d'une chaudière ordinaire ayant une surface de chauffe au moins trois fois plus grande.

» C'est là un point de vue intéressant, spécialement pour beaucoup d'industries parisiennes, qui s'exercent le plus souvent dans des ateliers où la place n'est rien moins qu'en excès. Sous ce rapport, la chaudière de M. Boutigny forme, pour ainsi dire, le complément de ces machines à petit volume et à grande vitesse, qui s'emploient beaucoup depuis quelques années, parce qu'elles répondent à un véritable besoin, celui de ménager l'espace. Avec une chaudière de M. Boutigny et une machine telle qu'en établissent M. Flaud et d'autres constructeurs, on peut obtenir, sous un volume très restreint et à un prix très réduit (considération qui a bien aussi sa valeur), la fraction de cheval ou les quelques chevaux de force qui suffisent à la plupart des ateliers parisiens.

» Tel est, selon votre Comité, le véritable rôle auquel paraît appelé le générateur dont nous vous entretenons, si toutefois il ne présente pas à l'emploi quelque inconvénient, comme, par

exemple, celui d'une usure rapide du corps de la chaudière, ce que l'expérience seule fera connaître.

» Une observation se place ici naturellement : N'existe-t-il pas déjà d'autres dispositifs de chaudières qui, sous un volume restreint, présentent une grande surface de chauffe? A la question ainsi posée, les chaudières tubulaires à foyer intérieur sont une solution qui s'offre tout de suite à l'esprit. Mais les chaudières de cette espèce ont, surtout sur de faibles dimensions et dans des mains peu soigneuses, des inconvénients très notables au point de vue de l'entretien et des nettoyages. La chaudière de M. Boutigny est, au contraire, d'un nettoyage très facile. En enlevant le couvercle et les diaphragmes, on peut atteindre facilement tout l'intérieur du cylindre. D'ailleurs, chose remarquable et qui montre bien le rôle utile que jouent les diaphragmes comme agent de vaporisation, c'est sur ces diaphragmes, et surtout sur celui du haut, que se font les dépôts terreux, tandis que le cylindre reste parfaitement propre. Rien n'est donc plus facile que d'opérer un nettoyage, puisqu'il suffit d'ôter le couvercle, d'enlever les diaphragmes, que l'on nettoiera à loisir, d'en mettre un jeu de rechange, et de refermer. Cela peut se faire, au besoin, même les jours où la chaudière fonctionne; car, comme elle ne renferme presque pas d'eau, on peut, une fois le couvercle rajusté, remettre en marche en quelques instants.

» Il est un autre point de vue sous lequel l'appareil doit être considéré, c'est celui de la sûreté. Des parois exposées directement au feu, sans être, sur l'autre face, en contact avec de l'eau, sont un système en opposition directe avec un principe qui est regardé comme fondamental dans l'établissement des chaudières à vapeur ordinaires. Toutefois l'interposition des diaphragmes entre la paroi qui peut accidentellement rougir et le point par lequel se fait l'alimentation paraît de nature à prévenir des formations trop brusques de vapeur. Ce fait, d'ailleurs, vînt-il à se produire, comme la chaudière ne contient presque pas d'eau, qu'elle ne sera généralement appliquée que pour de petites forces, et aura, par conséquent, de faibles dimensions, on sera, à ce qu'il semble, garanti contre les effets désastreux de projection dus à la formation considérable de vapeur qui suit la rupture d'une chaudière ordinaire.

Nous reconnaissons, néanmoins, que cette chaudière demandera à être manœuvrée avec intelligence, qu'il faudra avoir soin d'alimenter régulièrement et d'une manière continue, et surtout éviter d'alimenter brusquement et avec trop d'abondance après une interruption qui aura permis à la chaudière de rester entièrement vide d'eau pendant un certain temps.

» Comme conclusion des considérations qui précèdent, votre Comité estime que si le générateur qui vous est soumis ne paraît pas devoir présenter, au point de vue de la consommation du combustible, des avantages particuliers, que s'il demande à être manœuvré avec intelligence, que si enfin on peut craindre que le corps de la chaudière n'ait une durée limitée, il a, sous le rapport du prix de premier établissement, du peu de place qu'il occupe, et des facilités qu'il présente pour le nettoyage et pour une mise en service très rapide, des avantages notables sur lesquels il est intéressant d'appeler l'attention des industriels.

» Votre Comité vous propose donc de remercier M. Boutigny de sa communication, et d'ordonner l'insertion du présent rapport dans le *Bulletin* de la Société.

» *Signé* J. Callon, *rapporteur*.

» Approuvé en séance, le 9 janvier 1856. »

Réflexions.

Les lecteurs attentifs auront certainement remarqué les différences notables qui existent entre les résultats de plusieurs expériences. Cela tient, comme le fait observer M. Callon, à ce que l'on a procédé pour les unes avec le fourneau froid et pour les autres avec le fourneau chaud. Dans l'expérience de M. Tresca, qui a été faite hors de ma présence, la chaudière était en activité depuis plusieurs jours et contenait dix diaphragmes.

Mais je crois que MM. Tresca et Callon n'ont pas insisté suffisamment sur la nature de la vapeur fournie par mon générateur, qui est *toujours sèche et saturée*. Ce résultat est d'une telle importance, qu'il suffirait à lui seul, à mon avis, pour faire adopter ce système de chaudière à vapeur.

En effet, la production forcée de la vapeur sèche et saturée

entraîne avec soi, nécessairement, *l'économie forcée du combustible* et une plus grande puissance de la vapeur, ce qui permet d'user plus largement de la détente.

Ajoutons que cette propriété de nos chaudières en fera d'excellents appareils distillatoires pour l'eau de mer.

D'après M. Callon, « cette chaudière demandera à être manœu» vrée avec intelligence. » Je ne saurais admettre cette proposition, et toutes les personnes qui auront lu ce qui précède, et surtout les détails de l'expérience qui se trouve en note à la page 120, seront de mon avis; mais comme proposition générale je partage entièrement l'opinion de M. Callon, et je dirai que toutes les chaudières doivent être manœuvrées avec intelligence. J'ajoute qu'il n'y a pas un chauffeur qui ne sache sur la manœuvre d'une chaudière à vapeur bien des choses que beaucoup de personnes ignorent, et que j'ignore moi-même, encore bien que j'aie souvent fait le rude métier de chauffeur.

Je termine ces courtes réflexions en priant MM. Tresca et Callon d'agréer l'expression de mes remercîments, et de me pardonner d'avoir discuté quelques points de leur rapport.

Je me fais un devoir, en finissant, de citer les noms des ingénieurs et des ouvriers qui m'ont aidé de leur concours dans ces laborieux essais. Ce sont : MM. Cavé, Durenne, Le Maître, J. Le Blanc J. Mareschal, Bertrand, Bauwens, Boudier frères, V. Colliau, et Hardy, ingénieurs; A. Fouché, Painquin, Arnould, Bellet, Bilbaut, J.-V. Brébant, Boichut, E. Brézillon, Choneval, R. Doublemard, H. Gouttière, C.-E. Guillaume, Jouaux, Lassalle, J. Libert, Patat, H. Raymond et Troussier, mécaniciens, chaudronniers, chauffeurs, etc., etc.

Mon fils mérite une mention spéciale pour son aptitude et son dévouement, et je la lui accorde de grand cœur.

Application des diaphragmes aux grandes chaudières; système mixte de Boutigny (d'Evreux).

Nous avons dit que l'application de ce système aux grandes chaudières était à l'étude, et nous avions reconnu, dès le début de nos recherches, la propriété si précieuse des diaphragmes, de

retenir les dépôts calcaires; dès lors le double rôle de *corps multiplicateurs* et de *filtres* leur était acquis, et une nouvelle et large voie conduisait à d'importants perfectionnements dans la construction des chaudières à vapeur.

Comme on voit, les diaphragmes remplissent à la fois le rôle de *multiplicateurs de la surface de l'eau* et de *séparateurs des dépôts calcaires et autres.* A ce double point de vue leur grande importance n'échappera certainement à l'attention de personne.

On se rappelle que nous avions principalement en vue, dans la construction de notre générateur à diaphragmes, de populariser la vapeur, de rendre son emploi facile, économique et accessible aux plus petits ateliers, en un mot, nous avions en vue la création d'une *force ouvrière*, et, sur ce point, nous croyons avoir assez bien réussi pour que nous ayons l'espoir de voir l'emploi de notre chaudière devenir général dans un espace de temps très court.

Mais le problème de l'application de notre système aux grandes chaudières restait à résoudre, et les propriétés si remarquables de nos diaphragmes nous en fournissaient les moyens.

Voici le nouveau système de chaudière à vapeur que nous avons créé et qui a été breveté par la Société Moinier et C[ie], le 30 mars 1855 sous le titre de: SYSTÈME MIXTE DE BOUTIGNY (D'ÉVREUX).

Mais je me fais un devoir de le dire, ce nouveau système n'a pas encore été sanctionné par l'expérience, il n'a pas encore reçu l'indispensable baptême de la pratique et du temps, ces juges suprêmes de toutes choses et de tous (1).

Voici en quoi consiste ce nouveau système : Un ou deux bouilleurs communiquant par une ou deux armatures ou tubulures avec une chaudière dans laquelle sont fixés, par les moyens connus, plusieurs diaphragmes rectangulaires cannelés ou non, percés de petits trous de bas en haut.

Les petits trous des diaphragmes pourraient être remplacés par un certain nombre d'ouvertures cylindriques d'un plus grand diamètre, en saillie de 1 à 10 millimètres, ce qui entretiendrait sur

(1) Après une telle déclaration, il m'est permis d'ajouter que le succès ne me paraît nullement douteux : les mêmes causes ne doivent-elles pas toujours produire les mêmes effets?

le diaphragme une nappe d'eau de cette épaisseur. Cette disposition, qui serait peut-être moins bonne pour l'évaporation, serait préférable pour retenir les dépôts calcaires ou autres.

L'appareil est, d'ailleurs, muni de tous les organes propres aux chaudières à vapeur, ainsi qu'on le verra par la légende explicative.

Le bouilleur seul est plein d'eau jusqu'au milieu de ses armatures ; toutefois le niveau de l'eau peut descendre jusqu'au bas ou monter jusqu'au haut des armatures sans aucun inconvénient.

Mais il serait peut-être préférable, et M. Gallon, ingénieur de la marine, est aussi de cet avis, d'élever le niveau de l'eau au-dessus des armatures, c'est-à-dire d'avoir quelques centimètres d'eau dans la chaudière ; ce serait un moyen à peu près certain de prévenir la détérioration, par la haute température du foyer, des armatures et de la chaudière. Cette disposition me paraît bonne ; je l'adopte dès à présent et je l'emploierai.

Des tubes indicateurs communiquant avec la chaudière et les bouilleurs font connaître d'une manière constante le niveau de l'eau.

L'alimentation de cette chaudière doit être permanente, et telle, qu'elle fournisse constamment la quantité d'eau que tout le système peut évaporer dans un temps donné.

Ce système ne doit jamais fonctionner au-dessous de 5 atmosphères, et la pression peut être portée jusqu'à 10 atmosphères sans danger.

Cela dit, on comprendra facilement le jeu des diaphragmes. L'eau, en tombant et en s'étalant sur le premier diaphragme, est portée tout à coup à une température de + 150° à + 180° centigrades, et les sels calcaires qu'elle contient se déposent immédiatement sur ce diaphragme. Ce qui échappe à celui-ci se fixe sur le second, et ainsi de suite, et il n'arrive dans le bouilleur que de l'eau qui ne peut plus former d'incrustations, et c'est là, je le répète, un avantage énorme ; car, il résulte des savantes recherches de M. Cousté, que j'ai déjà citées, que les incrustations des chaudières font perdre de 40 à 66 pour 100 du combustible ; en moyenne, 53 pour 100 !

Mais l'emploi des diaphragmes, comme on l'a déjà vu, a un autre but, non moins utile, non moins précieux que celui de re-

cueillir les dépôts calcaires, c'est de diviser l'eau, de multiplier considérablement ses surfaces, et conséquemment d'augmenter la rapidité de sa transformation en vapeur.

Le bouilleur et la chaudière de ce système sont parallèles et placés horizontalement ; mais on pourrait facilement le modifier et le perfectionner, en faisant un bouilleur horizontal sur lequel on implanterait plusieurs chaudières verticales à diaphragmes.

Ces dernières dispositions pourront offrir de grands avantages dans certains cas que la pratique aura bien vite fait connaître. Quant aux chaudières navales, elles seraient à foyer intérieur et surmontées de chaudières verticales à diaphragmes. Des enveloppes convenables de tôle contenant de l'eau ou des corps légers, mauvais conducteurs du calorique, compléteraient tout ce système que je crois appelé à jouer un rôle important dans la navigation.

Ces chaudières horizontales, à foyer intérieur, et sur lesquelles seraient implantées un certain nombre de chaudières verticales à diaphragmes, seraient aussi très convenables pour les locomotives, qui ne donnent que difficilement de la vapeur sèche. Les chaudières à diaphragmes, au contraire, n'en sauraient donner d'autre, nous l'avons déjà dit ; et c'est là un avantage que tous les ingénieurs sauront apprécier.

En se rappelant ce qui a été dit plus haut de la chaudière proprement dite et des chaudières verticales, on voit qu'elles feraient à la fois l'office :

1° De générateurs,

2° De surchauffeurs,

3° De dépurateurs,

4° De *steam-boxes*.

Quant au fourneau de ce système de générateur, il doit être construit de telle sorte que toute la surface du bouilleur soit, autant que possible, tout entière *surface de chauffe directe*, et celle des chaudières *surface de chauffe indirecte*, c'est-à-dire non soumise à l'action du rayonnement du foyer.

Les avantages généraux de ce système sont : d'occuper moins d'espace que les anciens générateurs et d'avoir moins de masse ; de produire dans un temps donné beaucoup plus de va-

peur; de donner de la vapeur sèche à haute pression; d'être moins explosible; de coûter moins cher et d'être plus facile à nettoyer; d'empêcher la formation des incrustations; de rendre l'appareillage des pyroscaphes très rapide, la quantité d'eau à porter à l'ébullition étant relativement très petite; d'augmenter la stabilité des steamers en abaissant leur centre de gravité; enfin d'économiser le combustible.

Il vient d'être dit que ce système de générateur serait plus facile à nettoyer que les autres, et il en est ainsi. En effet, les diaphragmes sur lesquels se forment exclusivement les dépôts calcaires seront toujours faciles à enlever et à remettre en place. Au besoin on aurait des rechanges, et pendant qu'un jeu de diaphragmes fonctionnerait, on nettoierait l'autre.

J'ai déjà dit, mais je crois devoir le rappeler ici, que la petite chaudière de 1849 n'avait que rarement eu besoin d'être nettoyée. Ce fait seul ne montre-t-il pas que nos systèmes de générateurs sont dignes de toute l'attention des hommes sérieux, véritables amis du véritable progrès? Qu'il me soit permis d'espérer que leur appui ne manquera pas à ces appareils qui promettent de concourir à l'accroissement de la puissance et de la richesse nationales.

Voici des vues de ces chaudières, suivies de leurs légendes explicatives.

Légende de la figure 14.

AA, bouilleur : les dimensions de ce bouilleur sont variables, et il peut être pourvu de plusieurs tubulures comme celle BB;
BB, armature ou tubulure qui établit la communication entre le bouilleur AA, et la chaudière CC;
bb, tube indicateur du niveau de l'eau : ce niveau peut s'élever de quelques centimètres dans la chaudière;
CC, chaudière proprement dite contenant dans son intérieur plusieurs diaphragmes *hhhhhh*;
cc', soupapes;
d, sifflet;
d', sifflet d'alarme;
ee, tuyau d'alimentation;
ff, tuyau du manomètre;
gg, tuyau de prise de vapeur;
hhhhhh, diaphragmes rectangulaires à bords relevés, percés de trous également relevés pour le passage de l'eau d'un diaphragme à l'autre jusqu'au bouilleur. Le nombre de ces diaphragmes n'est limité que par la capacité de la chaudière.

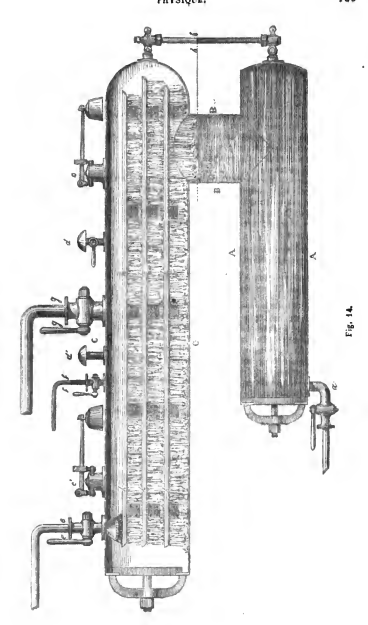


Fig. 14.

Légende explicative des figures 15, 16, 17, 18.

Fig. 15. — AA, bouilleur principal plein d'eau et léché dans toute sa surface par la flamme et les gaz chauds.

BBBB, cinq corps de chaudière placés verticalement sur le bonilleur AA et renfermant les diaphragmes;

I, niveau d'eau, prenant sa vapeur le plus haut possible, et son eau sur le bouilleur;

J, manomètre prenant sa vapeur sur la boîte de la soupape;

M, tuyau commun pour la prise de vapeur;

O, tuyau commun d'alimentation;

S, grille et foyer;

T, carneaux disposés de façon que la flamme et les gaz chauds lèchent d'abord le bouilleur jusqu'à son extrémité, puis reviennent vers l'avant en chauffant la partie inférieure des cinq chaudières; ensuite ils se relèvent pour retourner vers l'arrière en chauffant la partie supérieure des chaudières, et enfin se rendent dans la cheminée.

Fig. 16. — Plan général de la chaudière avec une coupe du fourneau pour laisser voir les carneaux.

Fig. 17. — Vue en bout de l'appareil, et coupe du fourneau par le milieu du foyer; TT, carneaux.

Fig 18. — Détails de la chaudière à diaphragmes.

F, boîte de fonte fixée sur le couvercle des chaudières extrêmes; la soupape, le sifflet avertisseur et la prise de vapeur du manomètre sont sur cette boîte; la tringle d'un flotteur passe également dans cette boîte, et sa montée ou sa descente fait ouvrir une petite soupape, au moyen d'une combinatson de leviers, et introdnit la vapeur dans le sifflet;

DD, couvercle de la chaudière: ce couvercle est fixé au moyen de boulons;

C, diaphragme;

O, tuyau d'alimentation débouchant sur le second diaphragme;

G, soupape de sûreté et son levier;

L, prise de vapeur.

Maintenant nous fixons les tuyaux d'alimentation et de prise de vapeur sur le corps même de la chaudière, en sorte que les couvercles, excepté ceux des chaudières extrêmes, sont débarrassés de tous les joints qui retarderaient leur mise en place

Artillerie.

Il y avait un moyen très simple de lever tous les doutes sur la cause des explosions fulminantes des chaudières à vapeur : c'était de faire éclater des projectiles creux par suite du changement

d'état de l'eau sphéroïdalisée. En conséquence, je me suis adressé à S. E. M. le ministre de la guerre, qui m'a autorisé, par sa

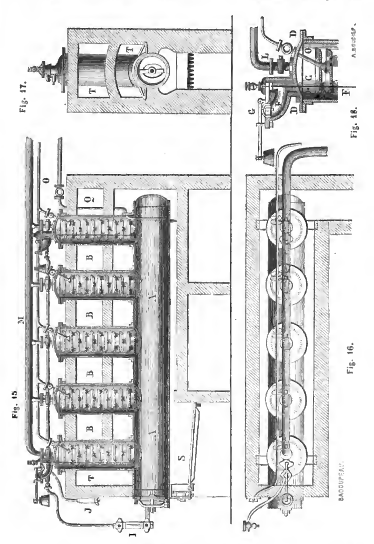


Fig. 15. Fig. 16. Fig. 17. Fig. 18.

lettre en date du 10 novembre 1845, à faire des expériences à Vincennes, en m'invitant à m'adresser à M. le lieutenant général

Gourgaud, président du comité d'artillerie, pour toutes les demandes que j'aurais à faire de matériaux ou de manœuvres.

Une première expérience a été faite, le 30 juillet 1846, sous les yeux de M. le général Gourgaud et d'un grand nombre d'officiers d'artillerie. Cette expérience sera suivie de plusieurs autres, dont je rendrai compte quand elles seront terminées (1).

§ VIII. — Quelle est la constitution physique des corps à l'état sphéroïdal ?

La solution de ce problème revient de droit aux géomètres ; elle appartient, en effet, beaucoup plus au domaine de l'analyse qu'à celui de la physique expérimentale; néanmoins, voici quelques expériences qui me paraissent propres à ouvrir la voie et à faciliter la marche de l'analyse.

Dans la deuxième partie de ce volume, on trouve la description d'une expérience, la 84e, qui consiste à faire passer l'ammoniaque à l'état sphéroïdal et à y projeter quelques milligrammes d'iode qui s'y mêlent et finissent par s'y dissoudre ; mais pendant la réaction, si l'on examine le mélange avec soin, on voit des courants nombreux qui se dirigent et se croisent dans tous les sens avec une vitesse que l'œil peut à peine suivre.... Il m'avait semblé dès l'origine que la couche qui limitait le sphéroïde ne participait en aucune façon aux mouvements qui avaient lieu dans les couches sous-jacentes. D'autres expériences avaient confirmé cette observation, et il ne me restait plus le moindre doute à cet égard ; mais ce n'était point assez, il fallait encore que je fusse en état de faire passer cette conviction dans l'esprit des autres observateurs, de ceux-là surtout qui ne croient pas qu'il soit absolument nécessaire d'avoir passé par la filière des écoles ou d'appartenir aux corps privilégiés pour lire dans le grand livre de la nature et découvrir une des mille vérités qu'elle tient en réserve pour ceux qui prennent sérieusement la peine de l'interroger.

(1) Ces expériences n'ont pas été reprises : il y a là un beau sujet d'étude pour les jeunes officiers d'artillerie.

C'est à l'aide de l'expérience suivante que j'espère pouvoir établir que *les corps à l'état sphéroïdal sont limités par une couche de matière dont les molécules sont liées de telle sorte qu'on peut la comparer à une enveloppe solide, transparente, d'une épaisseur infiniment petite et douée d'une très grande élasticité.*

53e *Expérience* (ter). — On prend 5 centigrammes de charbon roux en poudre, chaque grain n'ayant pas plus d'un quart de millimètre dans sa plus grande dimension ; on délaie cette poudre dans 10 grammes d'eau distillée, puis à l'aide d'une pipette on projette quelques gouttes de ce mélange dans une capsule de platine très polie et rouge de feu, et l'on observe ce qui se passe. Le voici : les courants que j'ai signalés plus haut se manifestent d'une manière très apparente, sans que la couche qui limite le sphéroïde y participe en quoi que ce soit. Quelquefois de petits grains de charbon traversent la couche extérieure et s'y fixent ; ce sont autant de points de repère. Quand on a eu la patience d'attendre ce résultat, il ne peut rester le plus léger doute dans l'esprit, les courants continuant à marcher en tous sens dans l'intérieur du sphéroïde, tandis que la couche extérieure reste tout à fait étrangère à ces courants (1).

En ajoutant un peu d'eau de chaux au mélange d'eau et de charbon, le phénomène est beaucoup plus marqué, mais alors on peut objecter que c'est une couche de carbonate de chaux qui limite le sphéroïde, et, en effet, toute la chaux passe à l'état de carbonate à la surface du sphéroïde.

Les 24e et 25e expériences me paraissent bien propres à corroborer celle-ci. Je prie le lecteur de vouloir bien s'y reporter.

Ainsi, comme je l'ai dit plus haut, les corps à l'état sphéroïdal sont terminés par une couche dont la cohésion est assez grande pour être considérée comme étant solide, ou dans un état moléculaire particulier analogue à l'état solide qui l'isole, pour ainsi dire, du reste de la masse.

Ce fait servira-t-il à expliquer certaines propriétés de la matière

(1) L'expérience pouvant durer longtemps, on entretient le volume du sphéroïde en ajoutant de temps à autre quelques gouttes d'eau distillée.

à l'état sphéroïdal, notamment la lenteur de l'évaporation, qui est pour l'eau, comme on sait, cinquante fois plus lente dans une capsule chauffée à + 200° que par ébullition dans les conditions ordinaires? Servira-t-il à dévoiler la cause de *la permanence de l'état sphéroïdal, même de l'acide sulfureux et du protoxyde d'azote dans le vide et dans des capsules rouges de feu?* C'est ce que l'analyse mathématique nous apprendra sans doute quelque jour (1)

L'opinion que je viens d'émettre brièvement sur la constitution physique des corps à l'état sphéroïdal, quoique basée sur l'expérience et l'observation, ne sera certainement pas admise sans conteste, elle est trop paradoxale pour qu'il en soit autrement (2).

Ainsi, on m'objectera que la couche solide qui termine les corps à l'état sphéroïdal doit être moins dense que la partie liquide; autrement elle se précipiterait vers le centre de la sphère en vertu de l'attraction : or, ajoutera-t-on, cela est contraire aux lois générales de la physique, un solide étant toujours plus dense que le liquide qui l'a fourni. A cela je réponds que cette loi n'est pas aussi générale qu'on le croit. En voici des exceptions ; la première est bien connue. 1° L'eau solide est moins dense que l'eau liquide. 2° Beaucoup de métaux sont moins denses que le mercure. 3° L'argent solide flotte sur le même métal en fusion (Persoz). 4° Le poids spécifique du plomb fondu est plus élevé que celui du même métal à l'état solide, etc., etc. (Boutigny d'Évreux).

Comme on voit, cette objection est sans valeur; s'il en est d'autres, j'attendrai qu'elles se produisent pour les admettre ou les rejeter, selon qu'elles me paraîtront plus ou moins fondées, et puis le temps et le public savant prononceront en dernier ressort.

En présence de l'hypothèse dont je viens de tracer les linéa-

(1) La permanence de l'état sphéroïdal des gaz liquéfiés dans le vide et dans des capsules rouges de feu, c'est-à dire dans des conditions où ils devraient bouillir immédiatement ou faire explosion, a passé inaperçue en France. C'est pourtant un fait considérable et bien digne de fixer l'attention des physiciens et des géomètres.

(2) Le comte de Rumfort aurait émis, il y a une quarantaine d'années, une opinion entièrement analogue. Était-ce une hypothèse ou une déduction de l'expérience? C'est ce que j'ignore, n'ayant pas pu me procurer l'ouvrage dans lequel se trouverait cette découverte.

ments, l'esprit se reporte tout naturellement sur le rôle terrible que l'état moléculaire de l'eau à l'état sphéroïdal doit jouer dans les explosions des chaudières à vapeur, lorsque les dépôts calcaires ont perdu leur force attractive pour l'eau, lorsqu'ils ne peuvent plus être mouillés par ce liquide. On se rappelle sans doute un grand nombre d'expériences décrites dans cet ouvrage, mais je renvoie plus particulièrement le lecteur à la 43ᵉ.

L'esprit se reporte involontairement aussi sur l'hypothèse de Poisson, relative à la limitation de l'atmosphère de la terre par *une couche d'air à l'état liquide* (1). Si la raison peut admettre qu'une sphère gazeuse soit limitée par une enveloppe liquide, elle admettra tout aussi facilement qu'une sphère liquide soit limitée par une enveloppe solide.

Pour comprendre qu'il en peut être ainsi sur ce dernier point, il faut se rappeler que des petits fragments de corps dont la densité est sept fois celle de l'eau ne traversent pas cette enveloppe, et forment, au nadir de la sphère, un segment que celle-ci entraîne dans tous ses mouvements, sans laisser échapper la plus petite parcelle de ces corps : verre, limaille de fer, etc. (Voy. le § IV, p. 27.)

Appendice.

Je décrirai dans cet appendice un certain nombre d'expériences qui appartiennent à l'ordre des faits que j'étudie, et qui ont des rapports multipliés avec celles précédemment décrites; mais les conséquences que l'on en peut déduire, et que j'en déduirai ultérieurement, peuvent être, ou plus générales, ou se rapporter à d'autres phénomènes que ceux que j'ai fait connaître au commencement de ce Mémoire.

54ᵉ *Expérience.* — On fait rougir une capsule d'argent, légèrement emboutie, et l'on y verse une certaine quantité d'eau distillée pour former un ellipsoïde très aplati ; on abaisse la mèche de la lampe, et l'on observe l'eau avec attention : au bout de quelques temps, elle a de la tendance à repasser à l'état de liquide ordinaire, et l'on voit des myriades de bulles se former

(1) Poisson, *Théorie mathématique de la chaleur*, p. 459 et 460.

au contact de la capsule. Si on laisse les choses dans cet état seulement deux secondes, l'eau mouille définitivement la capsule, et elle bout avec force ; si au contraire on s'empresse de relever la mèche de la lampe, la capsule reprend la propriété de repousser l'eau, les bulles disparaissent, et elle recouvre sa transparence primitive.

55ᵉ *Expérience.* — On fait rougir la capsule de fonte dont on s'est servi pour l'expérience 50ᵉ, puis on attache un morceau de glace du poids de 100 à 150 grammes avec un fil de fer fin, et de manière que le morceau de glace se trouve placé à une certaine distance du centre de la capsule. La boule d'un thermomètre disposé d'avance est placée au centre de la capsule et seulement à une distance de 2 à 3 millimètres de sa paroi. Voici ce qui se passe : la glace fond et passe à l'état sphéroïdal sans passer préalablement à l'état liquide ordinaire, et le thermomètre indique constamment la température de $+ 96^{\circ},5$, qu'il y ait ou non de la glace.

Quant à la température de la vapeur, elle est constamment la moyenne de toutes les températures ambiantes, l'équilibre de chaleur s'établissant toujours entre la vapeur des corps à l'état sphéroïdal et l'enceinte qui les contient. (Voy. les expér. 19ᵉ, 49ᵉ, 50ᵉ, 51ᵉ, 53ᵉ et suiv., et la 3ᵉ partie de cet ouvrage, § III.)

Quand on n'a pas de thermomètre convenable à sa disposition, cette expérience peut se faire de la manière suivante :

56ᵉ *Expérience.* — On fait rougir une capsule d'argent de 5 à 6 centimètres de diamètre, et l'on y projette un petit morceau de glace de 3 à 5 grammes, et quand la moitié à peu près de cette glace est à l'état sphéroïdal, on saisit la capsule avec des pinces et l'on verse rapidement son contenu dans la main, si l'on a la main délicate ; au contraire, si l'on a la main calleuse, on le verse sur le dos de la main. Dans les deux cas, on éprouve d'abord une sensation de chaleur, ensuite une sensation de froid, occasionnées, l'une par l'eau à l'état sphéroïdal, et l'autre par le fragment de glace non liquéfiée qui ramène rapidement l'eau à 0°.

Ces deux dernières expériences me semblent établir que la loi du passage de l'état solide à l'état liquide diffère de celle du pas-

sage de l'état solide à l'état sphéroïdal. Je reviendrai sur ce point en temps et lieu.

En attendant, faisons remarquer que l'eau, qui jouit d'un pouvoir réflecteur absolu à + 96°,5 (voy. le § IV), absorbe tout d'un coup, pour ainsi dire, tout le calorique nécessaire pour prendre cette température (+ 96°,5), au delà de laquelle elle ne s'échauffe plus. Pourquoi ? comment ? On l'ignore et on l'ignorera probablement toujours. Il y a là un de ces mystères profonds qui confondent la raison et qui mettent à nu l'impuissance de l'esprit humain.

57ᵉ *Expérience.* — On fait tomber, d'une hauteur de 15 mètres, des gouttes d'eau dans une capsule rouge de feu ; elles ne la mouillent pas, et elles passent à l'état sphéroïdal aussi facilement que si on les laissait tomber d'une hauteur de quelques centimètres.

Ce résultat nouveau, capital, je puis le dire, me donna le désir de répéter cette expérience en faisant tomber de l'eau d'une grande hauteur. J'en parlai à M. Destouches, architecte du Panthéon, qui eut l'obligeance de me faire ouvrir le *trou de service* que l'on voit au sommet de la coupole, et c'est de cette hauteur que nous avons laissé tomber l'eau destinée à nos observations.

Avant de décrire cette expérience, d'ailleurs fort simple, qu'il me soit permis d'offrir mes remercîments à M. Destouches pour son empressement à favoriser ces recherches. J'éprouve un véritable plaisir à publier que cette expérience est principalement due à cet habile architecte, qui nous a placés dans les meilleures conditions de succès.

C'est le 28 mars que nous avons fait cette expérience. Le temps était pluvieux, et l'air saturé d'humidité. Mon excellent ami, M. Renard, avait bien voulu m'accompagner pour m'aider de nouveau dans cette circonstance. L'un de nous resta en bas sur le sol, au centre de la mosaïque, où il fit rougir à l'aide d'un bon éolipyle une capsule de platine de $0^m,18$ de diamètre ; l'autre monta sur la coupole, d'où il laissa tomber de l'eau distillée en assez grande quantité. Cette eau se divisait, et arrivait sur le sol en gouttes plus ou moins volumineuses, et conséquemment avec

des vitesses différentes : celles qui se trouvaient dans la direction de la capsule y étaient retenues, et *passaient immédiatement à l'état sphéroïdal*, ainsi qu'on l'a vu dans tout le cours de ce mémoire.

La hauteur totale du Panthéon est de 79 mètres. En retranchant 9 mètres pour la partie qui surmonte la coupole, il reste 70 mètres pour la hauteur de laquelle l'eau tombait dans la capsule.

En se rappelant la loi de la chute des corps, on peut facilement se rendre compte de la vitesse de l'eau en arrivant dans la capsule.

Je rirais aujourd'hui de bon cœur de toutes les peines que nous nous sommes données pour cette expérience, si je ne savais pas que les idées les plus simples sont presque toujours celles qui s'offrent les dernières à l'esprit humain. En effet, cette expérience peut être exécutée d'une autre manière, avec le même succès, en tous lieux, et sans aucun embarras. Comment cela? le voici. On fait rougir une capsule sur un bon éolipyle, et quand il pleut ou qu'il tombe de la grêle, on prend l'appareil et l'on allonge le bras par la fenêtre ou par la porte..., et l'on obtient le résultat que j'ai dit.

58ᵉ *Expérience.* — On passe 0gr,50 d'argent à la coupelle, et lorsque l'opération est presque terminée, que les couleurs de l'iris se manifestent, on observe le globule avec attention, et l'on reconnaît que sa forme est celle d'une sphère parfaite, qui semble ne pas être en contact avec la coupelle, ou n'y être que par un point; mais, au moment où l'éclair a lieu, le globule se solidifie et s'aplatit tout d'un coup; sa forme alors est hémisphérique, sauf la courbe de la coupelle sur laquelle le métal est solidifié.

59ᵉ *Expérience.*— Un phénomène parfaitement analogue a lieu dans la solidification du mercure qui se moule avec beaucoup d'exactitude sur la surface du vase dans lequel la congélation s'opère.

On sait que la température d'un métal s'élève au moment où il change d'état, au moment où il passe de l'état liquide à l'état solide; on dit alors que le calorique de liquéfaction, de latent qu'il était, devient libre et appréciable au moyen du thermomètre.

Je crains qu'il n'en soit pas ainsi. Toutefois je n'émettrai mon opinion sur ce point qu'en faisant toutes mes réserves pour l'avenir.

Le passage de la glace à l'état sphéroïdal, dans les expériences 55e et 56e, n'a-t-il pas la plus grande analogie avec ce qu'on appelle la fusion des métaux? et l'élévation subite de la température de ceux-ci, quand ils passent de l'état liquide à l'état solide, ne pourrait-elle pas être attribuée à ce qu'*ils mouillent* le creuset ou le vase qui les contient, et auquel ils empruntent du calorique, ainsi que nous l'avons observé pour les corps non métalliques à l'état sphéroïdal, et plus particulièrement dans la 12e expérience?

Et si mes conjectures étaient fondées à cet égard, ne serait-on pas autorisé à dire que la température de l'ébullition des métaux est inconnue, et qu'ils n'ont été étudiés jusqu'à ce jour qu'à l'état solide, à l'état sphéroïdal et à l'état gazeux?

D'après cela, le métal, en passant de l'*état sphéroïdal* (état liquide des physiciens) à l'état solide, passerait préalablement à l'état de liquide ordinaire, de *liquide mouillant*, et ce passage serait marqué, pour l'argent et pour le mercure, par l'aplatissement des sphéroïdes et par l'élévation de leur température; mais des causes inconnues jusqu'ici les font passer presque instantanément à l'état solide.

Le phénomène que présente l'argent, quand il roche, ne pourrait-il pas être dû à l'ébullition de ce métal, ébullition aussitôt interrompue par sa solidification?

Du reste, les difficultés que présente la solution de ces divers problèmes ne sont pas de celles qu'on n'ose aborder, et j'espère que, le temps aidant, je parviendrai à les surmonter. Deux points de la question fixeront tout d'abord mon attention, à savoir : 1° si le creuset se refroidit au moment où la température du métal qu'il contient s'élève, et si le refroidissement du creuset est proportionnel à l'échauffement du métal; 2° si les métaux en fusion ont une température maximum qu'ils ne sauraient dépasser, quelle que soit l'intensité du foyer à l'action duquel ils seraient soumis.

60e *Expérience.* — On fait rougir une capsnle, soit de platine, soit de porcelaine, et l'on y verse assez de mercure pour former un ellipsoïde aplati. Presque aussitôt il se manifeste dans la masse un mouvement tumultueux qui ressemble à l'ébullition, et qui a toujours lieu, ainsi qu'on l'a vu précédemment (expériences 12e, 40e et 50e), qnand la matière sur laquelle on expérimente dépasse de beaucoup les proportions voulues pour qu'elle affecte la forme sphériqne. Mais, lorsque la quantité de mercure est réduite à l'état de sphère, l'évaporation se fait par la surface sans aucun signe d'ébullition, et avec une telle régularité, qu'elle est insensible à l'œil.

61e *Expérience.* — On fait passer 1 gramme d'éther à l'état sphéroïdal dans une capsule d'argent presqne plane et l'on y ajoute quelques grains de poudre de gaïac. L'éther se volatilise et rassemble la poudre de gaïac à la partie la plus déclive de la capsule, où il se charbonne et se fixe solidement. Alors on y projette 1 gramme environ d'eau distillée et on lui imprime un mouvement de rotation autour du point charbonneux, puis on l'abandonne à elle-même. Voici ce qu'on observe : le mouvement continue; il est d'abord lent, puis il s'accélère et finit par acquérir une telle vitesse, que l'œil ne saurait plus le suivre. Quelquefois la force centrifnge rejette la masse d'eau à la circonférence de la capsule, mais la pesanteur la ramène immédiatement au centre, et le mouvement recommence.

Ce mouvement accéléré de la masse d'eau peut s'expliquer, je crois, très facilement. Il est dû à la vapeur fournie par le sphéroïde d'une part, et de l'autre au mouvement de rotation de la terre (?); or le sphéroïde ne donne de vapeur que par ses surfaces, et ces surfaces ne diminuent pas dans le même rapport que la masse, la masse étant comme le cube des dimensions, et les surfaces seulement comme le carré des mêmes dimensions. Il suit de là que la résistance décroît plus rapidement que la puissance, d'où l'accélération du mouvement du sphéroïde.

Cette expérience réussit difficilement; si donc on la manque, il ne faut point se lasser de la répéter, et l'on finira par réussir à la reproduire.

C'est une expérience qui vient d'acquérir une certaine portée. En effet, le sphéroïde se met très souvent de lui-même en mouvement; or, si ce mouvement spontané avait toujours lieu dans le même sens, et d'orient en occident (et c'est le cas le plus fréquent), il se relierait naturellement à celui de la terre, et serait une preuve de plus de la rotation de notre planète.

Au commencement de l'expérience, c'est-à-dire quand le sphéroïde est volumineux, le mouvement n'est pas net, il a lieu tantôt à droite, tantôt à gauche et dans le sens de la rotation de la terre; mais quand le sphéroïde n'a plus que le volume d'un petit pois, le mouvement s'arrête et reprend presque toujours d'orient en occident (1).

Si, par la pensée, on répète cette expérience au cercle polaire, on verra tout d'abord que le sphéroïde doit tourner autour du point central et d'orient en occident, en décrivant une courbe très compliquée par suite de la diminution graduelle du sphéroïde.

On pourrait dire encore qu'étant isolé de la terre, qu'étant soustrait à l'action de la pesanteur, le sphéroïde reste fixe pendant que la terre tourne de l'ouest à l'est, et puis l'action dynamique de la vapeur ferait le reste.

Si mes vues sur cette expérience sont justes, elle devra donner des résultats très nets et très remarquables dans les hautes latitudes. Il est donc à désirer qu'elle soit répétée dans le nord de l'Europe.

Je prends la liberté de la recommander aux savants qui habitent ces contrées, et plus particulièrement à MM. les professeurs Palmstedt et C. W. Eneberg, de Stockholm.

Au pôle, dans le prolongement de l'axe de la terre, le mouvement serait nul, et le point charbonneux étant prolongé formerait l'axe du sphéroïde d'eau. A l'équateur, le mouvement serait également nul, mais l'axe du sphéroïde serait un rayon de la terre prolongeant également le point charbonneux.

(1) Cette expérience n'est pas nouvelle; elle est décrite pages 84 et 152, dans la deuxième édition de ce livre, imprimée en 1846, et publiée en 1847. Elle est conséquemment antérieure aux expériences faites sur le pendule.

Peut-être le sphéroïde dévierait-il quelque peu vers l'ouest.

Dans l'hémisphère austral, à la même latitude que Paris, le mouvement de rotation de notre sphéroïde devrait se faire de droite à gauche, si le mouvement de la terre est la cause initiale de ce phénomène.

Cette expérience devra donc être également répétée sous l'équateur et dans l'hémisphère austral, et je la recommande à l'attention des physiciens qui habitent ces contrées. De deux choses l'une, ou le mouvement de rotation ne se produira pas (à l'équateur), ou il se produira ; s'il n'a pas lieu et si le sphéroïde se tient plus à l'ouest qu'à l'est du point fixe, la conséquence que j'en ai tirée sera juste, il sera prouvé que la rotation de la terre est la cause initiale du mouvement. Si, au contraire, le mouvement a lieu, il prouvera que nous ignorons complétement la cause de ce phénomène.

Combien de découvertes à l'état embryonnaire dans l'état sphéroïdal de la matière !

Je livre cette expérience aux méditations et aux calculs des géomètres ; je la crois de nature à les intéresser.•

Ce mouvement de rotation d'orient en occident serait beaucoup plus général qu'on ne l'a cru jusqu'ici. Il résulte, en effet, des observations de MM. Redfield, Reid, Piddington et A. Pocy, que les ouragans des Antilles, ou *cyclones*, auraient, indépendamment de leur mouvement de translation, ce mouvement de rotation d'orient en occident, celui de la terre ayant lieu d'occident en orient. (Extrait d'une lettre de M. A. Pocy, en date du 15 septembre 1856.)

Jetons maintenant un coup d'œil sur cette expérience au point de vue de ses applications possibles.

Si le mouvement perpétuel a quelque chance d'être réalisé sur la terre, on en trouvera probablement la possibilité dans cette expérience remarquable à plus d'un titre; qu'on se rappelle la lenteur de l'évaporation des corps à l'état sphéroïdal, la faible capacité calorifique des métaux, leur pouvoir répulsif quand ils sont chauds (pouvoir qui neutralise la pesanteur) et la force centrifuge, et l'on reconnaîtra sans peine que ce mouvement de l'eau d'orient

en occident pourrait produire, dans un temps donné, plus de travail moteur qu'on n'en dépenserait pour l'obtenir pendant le même temps.

Mais je supplie les personnes qui seraient tentées de s'aventurer dans cette voie de n'y pas faire un seul pas sans être constamment guidées par des géomètres, les seuls d'entre les observateurs qui soient en état de bien juger un fait de cette nature.

Il me sera sans doute permis, après une telle déclaration, de demander aux géomètres de ne pas se prononcer avant que d'avoir répété l'expérience, ce que d'aucuns ont fait quelquefois, très rarement il est vrai, mais enfin cela s'est vu.

Du reste, il ne pourrait être question dans ces essais que de très petits appareils, du moins au début.

Mais on peut déduire tout d'abord de cette expérience une conséquence pratique d'une certaine valeur : c'est qu'il sera toujours préférable de faire tourner les meules, les roues hydrauliques horizontales, les turbines, etc., d'orient en occident ; on économisera ainsi une certaine quantité de force.

62e *Expérience.* — On fait rougir une capsule percée de petits trous très rapprochés, et l'on y projette de l'eau distillée qui passe à l'état sphéroïdal aussi facilement que si la capsule n'était pas percée ; mais si on la soustrait à l'action de la chaleur, le changement d'état se fait comme on l'a vu précédemment ; la capsule est mouillée et l'eau s'écoule au travers des trous.

Si l'on regarde avec attention le dessous de la capsule pendant qu'elle se refroidit et avant qu'elle soit mouillée, on voit de petits jets de vapeur s'échapper par les trous correspondant à l'ellipsoïde.

Cette expérience est encore plus nette et plus décisive quand on la fait avec une toile métallique au lieu d'une capsule percée de trous. La petite quantité de vapeur que donne le sphéroïde s'échappe librement à travers les mailles de la toile, et ne saurait contribuer en rien à sa suspension. Aussitôt que la toile cesse d'être assez chaude pour maintenir le sphéroïde à une certaine distance, il disparaît tout à coup en traversant le tissu métallique.

Cette expérience est plus concluante encore avec l'alcool ou l'éther. En effet, la vapeur de l'un ou l'autre de ces corps s'enflamme immédiatement et brûle *au-dessous* et *au-dessus* de la toile; puis quand le tissu de celle-ci est assez refroidi pour être mouillé, le liquide enflammé s'écoule rapidement au travers des mailles de la toile. En substituant l'iode à l'alcool et à l'éther, l'expérience n'est pas moins concluante. On voit la vapeur d'iode passer à travers les mailles de la toile et produire une cascade de vapeur d'un très bel effet.

Depuis peu j'ai remplacé la toile métallique par un fil de platine d'un millimètre de diamètre, contourné en spirale; ce qui donne des pleins et des vides quasi-circulaires sans solution de continuité (1).

Toutes ces expériences ont été accueillies avec intérêt par le monde savant; et M. Babinet, dans un rapport fait à l'Académie au nom d'une commission dont il était rapporteur (2), admet sans réserve l'existence de la *force répulsive* ou *répulsion à distance sensible*. Voici le rapport de ce savant :

Rapport de M. Boutigny, sur une Note intitulée : *Sur la force qui maintient les corps à l'état sphéroïdal au delà du rayon de leur sphère d'activité physique et chimique.*

« L'Académie a souvent eu à s'occuper des faits nombreux et importants découverts ou étudiés par M. Boutigny, et qui ont principalement rapport aux phénomènes qui résultent de l'action des corps échauffés sur les liquides, action d'après laquelle ces derniers sont ou semblent être dans un état moléculaire particulier, que M. Boutigny a désigné par le nom d'*état sphéroïdal*. M. Boutigny, après la constatation des faits connus, et la découverte de faits nouveaux, passe, dans la présente Note, à l'étude des lois physiques qui règlent l'action sphéroïdale, et, quant à la

(1) Voyez le Mémoire que j'ai lu à l'Académie des sciences, dans la séance du 26 août 1850.

(2) MM. Becquerel, Despretz, et Babinet, rapporteur.

nature intime de la force qui tient les liquides sphéroïdalisés à distance des corps échauffés qui les supportent, il maintient l'existence d'une vraie répulsion à distance sensible, et combat, par des expériences décisives, l'opinion de ceux qui seraient tentés de rapporter la suspension des liquides à l'état sphéroïdal à une interposition de la vapeur émanée du liquide entre ce liquide même et le vase échauffé où il est contenu.

» Pour ôter toute idée d'action statique ou dynamique de la vapeur, M. Boutigny a fait un vase où la vapeur ne peut aucunement être coercée. C'est un simple fil de platine contourné en spirale un peu creuse, et dont les diverses spires ne sont point en contact, de manière à laisser un libre passage aux liquides qu'on y verse à froid, et à leurs vapeurs dans tous les cas. En effet, après avoir chauffé cette capsule ou, pour mieux dire, ce tamis d'une nouvelle espèce, l'eau, l'alcool, l'éther, l'iode y restent à l'état sphéroïdal et sans couler au travers, tandis que leurs vapeurs le traversent sans peine, comme il est facile de le voir pour l'alcool et l'éther dont les vapeurs s'enflamment au-dessous de la capsule que forme le fil enroulé en spirale, et pour l'iode par l'inspection immédiate de sa vapeur qui forme une couche épaisse au-dessous des spires du fil.

» Ainsi le passage libre des vapeurs au travers des interstices du crible nouveau, dans lequel M. Boutigny a sphéroïdalisé les liquides, ôte toute idée de l'action d'une vapeur contenue entre le vase et le liquide, et qui, soit par sa force élastique à l'état d'équilibre, soit par un courant ascendant agissant dynamiquement, contre-balancerait le poids considérable du sphéroïde liquide.

» L'action à distance sensible étant admise par M. Boutigny, il est évident que ce physicien ingénieux et actif doit être conduit immédiatement à l'étude expérimentale de cette loi de distance. C'est, pour le moment, la principale recommandation que votre Commission pense devoir être faite à M. Boutigny, tout en engageant l'Académie à donner son approbation aux expériences que contient la présente Note. Ici, comme dans toutes les branches des sciences d'observation, les faits doivent conduire à des lois

expérimentales numériques, et celles-ci doivent servir de base à des théories qui puissent embrasser comme conséquences et les faits et les lois.

» Les conclusions de ce Rapport sont adoptées. »

Ce rapport a été publié dans le n° 15 (7 octobre 1850) des *Comptes rendus de l'Académie*. Un mois plus tard, le 11 novembre (n° 20 des *Comptes rendus*), M. le professeur Zantedeschi adressa à l'Académie une lettre par laquelle il annonçait avoir fait les mêmes expériences que moi et en avoir tiré les mêmes conséquences (1).

Je répondis à la réclamation du savant italien (2) que j'ignorais entièrement ses recherches sur ce sujet, et que mes dernières expériences dérivaient d'une expérience fort ancienne qui consistait à faire passer un corps quelconque à l'état sphéroïdal dans une capsule percée de petits trous. Je me félicitais d'ailleurs de m'être trouvé d'accord sur des questions aussi ardues avec un homme du mérite de M. Zantedeschi.

En effet, quand deux observateurs placés à 250 lieues l'un de l'autre font, sans se connaître, sans s'être concertés, les mêmes expériences et en tirent les mêmes conséquences, on peut croire, on doit croire, devrais-je dire, que la vérité est là ; aussi je répète avec l'illustre physicien italien « que la nature a récompensé nos travaux en nous donnant des résultats identiques. » N'est-ce pas le cas de répéter ici que « la science est l'œuvre du temps et de tous ? »

M. Person prit également part à ce débat, mais pour soutenir que la cause de la suspension des corps à l'état sphéroïdal ne doit pas être cherchée ailleurs que dans leur propre vapeur. C'était une manière de voir tout à fait opposée à la nôtre, et elle fut combattue par chacun de nous, et avec un grand succès par l'illustre professeur Zantedeschi ; de sorte qu'aujourd'hui il ne me reste plus l'ombre d'un doute sur l'existence d'une force répulsive que la chaleur met en jeu.

(1) *Trattato del calorico dell' abbate Francesco Zantedeschi*, p. 299 et 300.

(2) Voyez le numéro 22 des *Comptes rendus* (25 novembre 1850).

Ces expériences sont récentes. Je n'en connais pas de plus propres à établir que les corps à l'état sphéroïdal ne sont pas maintenus par un coussin de leur vapeur au delà du rayon de leur sphère d'activité physico-chimique, et je n'en connais pas qui mettent plus nettement en relief la force répulsive que la chaleur développe dans le corps sphéroïdalisant.

63ᵉ *Expérience.* — On projette quelques grammes d'eau de chaux transparente dans une capsule rouge de feu. Cette eau perd immédiatement sa transparence et se recouvre d'une pellicule dont l'épaisseur va toujours en croissant, puis il s'y forme des éminences, des cavités, des sillons, etc., qui lui donnent un aspect particulier. Lorsque l'eau est réduite aux deux cinquièmes environ, on la voit quelquefois détoner et disparaître sans laisser de traces sur la capsule ; d'autres fois l'évaporation continue, et il reste sur la capsule un petit tas de chaux mêlée de carbonate.

J'ai vu, dans quelques circonstances, se former un petit espace vide au zénith du sphéroïde. Cet espace, se trouvant circonscrit entre la courbe de la croûte du sphéroïde et une autre courbe en sens inverse dans le liquide, avait toujours la forme d'une lentille convergente. J'ignore la cause de ce phénomène.

L'eau de baryte se comporte absolument comme l'eau de chaux.

Enfin, dans d'autres circonstances, la surface des sphéroïdes d'eau de chaux et de baryte se recouvre de mille facettes, et vibre avec harmonie. On observe également cet effet avec les autres sphéroïdes, mais plus rarement.

Ce phénomène intéressant est presque toujours précédé de vibrations plus lentes qui font prendre aux sphéroïdes des formes particulières qui se réduisent, en général, à des ellipsoïdes qui s'entrecroisent à angle droit. Toutes ces formes ont été décrites avec beaucoup d'exactitude par Klaproth, Peltier et Laurent. Je n'ai donc point à m'en occuper ici.

En relisant la description de cette expérience, et en la reportant sur la masse en fusion qui constitue notre planète presque en entier, on a la clef d'un grand nombre de phénomènes de la mécanique terrestre : éruptions volcaniques, tremblements de terre, formation des montagnes par voie de soulèvement, etc., etc. Le



roulement du tonnerre ne pourrait-il pas être également dû au mouvement vibratoire des eaux des nuages, qui serait imprimé ensuite à l'air ambiant qui nous le transmettrait ?

64[e] *Expérience.* — On fait rougir une capsule et l'on y fait passer quelques grammes d'eau à l'état sphéroïdal, puis on prend un petit morceau de bois blanc taillé en forme de crayon, on le plonge dans l'ellipsoïde, et l'on trace sur la capsule des caractères qui ressortent en noir par suite de la carbonisation du bois. Pendant toute la durée de cette expérience, on voit les gaz provenant de la décomposition du bois se dégager au travers de l'ellipsoïde, et non en dessous, comme la vapeur produite par celui-ci, ce qui semble établir, pour le dire en passant, que les sphéroïdes ne sont pas soutenus par leur vapeur.

65[e] *Expérience.* — Une marmite de fonte, aux trois quarts pleine d'eau, est suspendue à une crémaillère sur un bon feu de cheminée ; quand elle est en pleine ébullition, on l'attire à soi et l'on applique immédiatement la main dessous : on est tout étonné de la trouver froide ou presque froide ; une demi-minute après, elle est à la température de l'eau, et la main appliquée de nouveau n'y saurait être maintenue sans inconvénient pour l'expérimentateur.

Ce fait, qui est connu de tout le monde et de temps immémorial, a été signalé pour la première fois par Homberg (1). Ce fait constitue une nouvelle exception à la loi de l'équilibre de la chaleur. Toutefois celle-ci contraste singulièrement avec celles que j'ai déjà fait connaître. En effet, dans cette expérience, c'est le contenu qui est chaud et le contenant qui est froid, c'est-à-dire précisément le contraire de ce qu'on observe dans les corps à l'état sphéroïdal.

M. Jacquemyns est aussi d'avis que le fond de la chaudière est froid ; mais M. Cauchy, chargé de rendre compte du mémoire de M. Jacquemyns, est d'un avis contraire : ce savant dit que cette expérience a été mal jugée, et que la différence des résultats doit être attribuée à une plus ou moins longue durée du contact de la

(1) *Histoire de l'Académie royale des sciences*, 1703, p. 24.

main avec le foyer de chaleur (1). C'est un sujet qui demande à être étudié de nouveau avec soin. En attendant, je persiste à croire que M. Jacquemyns a bien observé et qu'il est dans le vrai. (Voy. § V de la 3e partie.)

66e *Expérience.* — On dispose convenablement sur la platine d'une machine pneumatique une capsule de porcelaine contenant de 300 à 400 grammes d'acide sulfurique récemment *calciné ;* on place sur celle-ci une capsule d'argent presque plane, dans laquelle on laisse tomber 10 centigrammes d'eau distillée, et le tout est recouvert par le récipient de la machine, puis on fait le vide avec toute la célérité possible. Aussitôt que le mercure baisse dans la branche fermée, des signes d'ébullition se manifestent, des bulles se forment *au contact de la capsule*, grossissent et se dégagent, et bientôt toute l'eau a disparu.

Le temps de l'évaporation, depuis le premier coup de piston, a été de 7 minutes 15 secondes.

67e *Expérience.* — On recommence l'expérience précédente de la manière suivante : On noircit la capsule en la promenant sur la flamme d'une chandelle, on la laisse refroidir et l'on y fait tomber la même quantité d'eau qui passe à l'*état sphéroïdal*, ainsi que l'a observé Rumfort. On place la capsule sur l'acide sulfurique, et l'on fait le vide comme précédemment. Cette fois, aucun signe d'ébullition ne se manifeste, et le temps de l'évaporation est de 1 heure 3 minutes 10 secondes.

Quelle différence dans les temps d'évaporation de ces deux expériences !

Mais la description qu'on vient de lire serait très incomplète, si je n'ajoutais pas que je dois ces deux opérations, d'une part, à M. Bussy qui a bien voulu mettre une bonne machine pneumatique à ma disposition, et, de l'autre, à la coopération active de M. Laroque, préparateur à l'École de pharmacie.

68e *Expérience.* — On dispose la capsule d'argent comme dans l'expérience précédente, on y fait tomber la même quantité d'eau, et on la porte sur la flamme d'une lampe à alcool à double courant. Voici ce qu'on observe : le sphéroïde est agité par de

(1) *Bulletins de l'Académie royale de Bruxelles*, 1835, p. 113 et 300.

petites ondes concentriques dont le plan est perpendiculaire au rayon de la terre, il roule sur la surface de la capsule; des courants qui se croisent dans tous les sens s'établissent dans son intérieur, le noir de fumée brûle, la capsule recouvre son éclat métallique, et l'eau disparaît entièrement : tout cela dans l'espace de 2 minutes 34 secondes.

69e *Expérience.* — On fait rougir l'espèce de creuset qui a servi pour la 11e expérience et qui a été décrit dans la 10e; on le retire du feu et on le nettoie avec soin, puis on y verse de l'eau distillée qui passe à l'état sphéroïdal; elle est agitée par le mouvement tumultueux que nous avons déjà signalé à l'attention des observateurs (expériences 12e, 40e et 50e). On continue de verser de l'eau jusqu'à ce que le creuset soit mouillé et que l'ébullition soit bien prononcée; on en verse encore. Il arrive enfin un moment où tout signe d'ébullition cesse : alors la température de l'eau peut être très inférieure à celle de son ébullition. Mais ce calme, cet état stationnaire ne dure qu'un instant, et l'eau bout de nouveau avec beaucoup de force et disparaît rapidement. Une minute après, si l'on fait tomber quelques gouttes d'eau dans le creuset, elles passent à l'état sphéroïdal.

Il y a dans cette expérience, comme dans quelques autres (24e, 25e et 63e), un élément nouveau pour la géologie. Nous verrons, dans la troisième partie de cet ouvrage, cet élément jouer un rôle important à la surface du globe.

Il résulte encore de cette expérience, qui a été publiée pour la première fois en 1847, que le creuset, d'abord assez chaud pour faire passer l'eau à l'état sphéroïdal, devient assez froid pour que l'eau n'y puisse pas même bouillir; puis il se réchauffe suffisamment pour que l'eau entre en ébullition, se vaporise entièrement, et enfin qu'une nouvelle quantité d'eau versée dans le creuset passe à l'état sphéroïdal.

Ce phénomène de réincandescence vient d'être observé (1855) par M. Gaudry sur des laves du Vésuve « sur lesquelles on avait » marché la veille, et qui, après avoir paru refroidies jusque dans » leurs parties les plus profondes, redevinrent incandescentes à » leur surface. »

Notre expérience et le fait observé par M. Gaudry nous paraissent venir à l'appui de l'hypothèse des ondes c alorifiques (1).

70ᵉ *Expérience.* — On prend deux capsules d'argent du même diamètre (0ᵐ,095), légèrement et également embouties l'une et l'autre, mais pesant, celle-ci 25 grammes, celle-là 200 grammes.

On fait chauffer celle qui a le moins de masse sur un bon éolipyle, et l'on y verse de l'eau distillée avec de grandes précautions, dans le but de la remplir d'eau à l'état sphéroïdal. D'abord elle passe à l'état sphéroïdal, puis il arrive un moment où elle mouille la capsule, bout et s'évapore rapidement.

Ces derniers phénomènes se produisent ordinairement quand on a versé 25 ou 30 grammes d'eau.

On recommence l'expérience avec la capsule du poids de 200 grammes, et il est absolument impossible de mouiller celle-ci. On y peut verser assez d'eau, et sans précautions, pour qu'elle s'échappe de la capsule par tous les points de sa circonférence, le phénomène persistant à se manifester ; d'où il faut conclure que *la masse ou la somme des points matériels exerce une grande influence sur l'état sphéroïdal des corps.*

Cette expérience est plus concluante encore si on la répète avec trois capsules de même capacité, mais d'épaisseur différente et de forme hémisphérique. Dans une capsule très mince, il est presque impossible d'y faire passer plus de 8 ou 10 grammes d'eau à l'état sphéroïdal; une capsule de 2 millimètres d'épaisseur peut être remplie d'eau à l'état sphéroïdal, en prenant quelques précautions; et une capsule de 4 millimètres peut l'être tout d'un coup sans être mouillée. Les trois capsules dont il vient d'être question avaient la même capacité, 20 centimètres cubes.

71ᵉ *Expérience.* — Une lampe à alcool à double courant et trois capsules d'argent sont nécessaires. Je désignerai ces trois

(1) *Cosmos*, t. VII, 5 octobre 1855, et l'*Ami des sciences*, 7 octobre 1855.

capsules par les lettres A, B, C. Ellles sont hémisphériques et de même capacité (20 centim. cubes). Elles pèsent :

A.............	9 grammes.
B.............	44 —
C.............	85 —

On pèse 10 grammes d'eau distillée dans chacune de ces capsules ; on en place une sur la flamme de la lampe qui est fixée invariablement, et l'on note le temps de l'évaporation de l'eau depuis le moment où l'on soumet la capsule à l'action de la chaleur jusqu'à celui où toute l'eau est évaporée.

La moyenne de trois expériences a été :

Avec la capsule A, de	4m 18s
Avec la capsule B, de	4 15
Avec la capsule C, de	4 15

Voilà des résultats tout à fait inattendus et qui montrent que l'épaisseur des parois des chaudières est sans influence sur la production de la vapeur, et cela n'est point indifférent dans la pratique, surtout au point de vue de la sûreté publique. Toutefois ces résultats ne doivent être adoptés qu'avec une prudente réserve quant à leur application aux chaudières à vapeur. On sait qu'il peut exister une grande différence entre une expérience de laboratoire et une expérience d'atelier.

Qui eût pu dire *à priori* que deux capsules aussi peu semblables sous le rapport de la masse que celles A et C eussent donné les mêmes résultats, ou à peu près ? Personne assurément. La capsule A est à la capsule C :: 1 : 9,44, et cette énorme différence a été sans influence notable sur le temps de l'évaporation de l'eau. C'est quelque chose de singulier et d'imprévu. J'ai dit que la mèche de la lampe avait été invariablement fixée pour toute la durée de ces expériences. Il ne faut pas l'oublier, autrement les résultats ne seraient plus comparables entre eux.

Il y a une cause d'erreur dont je n'ai pas cru devoir tenir compte : ce sont de petits globules détachés par l'ébullition et lancés au dehors de la capsule. Cet accident s'étant régulière-

ment produit à chaque expérience et avec chaque capsule, j'ai cru que je pouvais le négliger (1).

Les expériences qui précèdent ont été répétées à des températures différentes, et les résultats ont toujours été les mêmes. Les temps d'évaporation ont été égaux, ou s'ils ont varié entre eux, ce n'a été que dans des limites étroites.

Cette expérience, comparée à la précédente, me paraît très concluante ; elle montre que la masse exerce une grande influence sur la cause qui détermine le passage des corps à l'état sphéroïdal.

72e *Expérience.* — Nous avons fait cette expérience en commun, M. Despretz et moi : elle consiste à placer au foyer d'une puissante lentille à échelons une petite capsule de platine qui rougit immédiatement ; on y verse quelques gouttes d'eau qui passent à l'état sphéroïdal, ainsi qu'il était permis de s'y attendre. Nous croyons pouvoir conclure de ce fait que la chaleur solaire agit sur les corps à l'état sphéroïdal comme la chaleur de nos foyers.

Plus tard, nous reprendrons ces expériences, et nous espérons obtenir facilement la congélation de l'eau au foyer même où nous aurons fondu et volatilisé des métaux.

(1) Voici une remarque étrangère au sujet qui m'occupe, mais que, comme essayeur, je ne dois pas passer sous silence. Tous les vases d'argent que j'ai employés étaient au premier titre (950mm), du moins mon orfèvre me l'assurait. La première fois que je les chauffais, ils coloraient la flamme en vert, puis cette coloration diminuait peu à peu. Le vase alors avait quelque chose de cristallin, il était plus blanc et devenait très fusible, et son poids était diminué. C'est aux affineurs à voir s'ils pourront fair leur profit de cette expérience, qui n'a pas fait le mien.

DEUXIÈME PARTIE.

CHIMIE.

« Si vous voulez nier Dieu,
» faites-moi un brin de mousse. »

ALPH. KARR.

« Les forces vitales et les forces
» physiques sont opposées comme
» la vie et la mort. »

Dr LÉGAL (d'Harfleur).

Personne ne s'attend à trouver ici tout ce que l'étude de l'état sphéroïdal des corps promet à la chimie, et l'on ne tardera pas à reconnaître, du moins, je l'espère, que l'examen d'une seule combinaison ternaire peut fournir à elle seule la matière d'un volumineux Mémoire. On concevra facilement qu'il en doit être ainsi, en se rappelant que l'équilibre de chaleur ne s'établit jamais entre le corps à l'état sphéroïdal et le vase qui le contient, et que c'est le contraire pour la vapeur qu'il donne.

Ceci posé, si l'on expérimente sur un corps dont le point d'ébullition soit E, sa température à l'état sphéroïdal sera E — S (1), mais la vapeur provenant de ce corps pourra passer par toutes les températures connues, et, si l'on opère au contact de l'air, on a la chance d'obtenir un nombre considérable de combinaisons nouvelles par suite de l'action combinée de l'oxygène, de l'azote et de l'eau hygroscopique. Opère-t-on dans le vide, on aura d'autres résultats, et, très probablement, des ségrégations chimiques d'un grand intérêt. Recommence-t-on l'opération au sein d'une atmosphère d'oxygène, d'hydrogène, d'azote, de soufre, de chlore, de brôme, etc., on pourra, si je ne m'abuse, légitimement espérer

(1) S est proportionnel à la température de l'ébullition du corps; sa valeur = 3,5 pour l'eau.

d'obtenir un nombre presque infini de combinaisons actuellemen ignorées, ou de combinaisons connues, mais difficiles à obtenir par d'autres procédés.

On ne trouvera donc dans cette partie de mon Mémoire que des expériences préliminaires, des jalons qui nous guideront plus tard dans le champ fertile dont l'existence nous a été révélée par le basard, et dont l'étendue comme les limites sont inconnues.

Je rappellerai d'abord les 27ᵉ et 28ᵉ expériences, relatives à l'azotate d'ammoniaque, puis je commencerai par l'éther l'étude de l'état sphéroïdal des corps au point de vue chimique.

L'azotate d'ammoniaque, placé dans une capsule de platine, et soumis à l'action de la chaleur, fuse, s'enflamme et brûle sans laisser de résidu. Au contraire, si l'on fait rougir préalablement la capsule, l'azotate passe à *l'état sphéroïdal*, se décompose et ne brûle pas; mais si l'on soustrait la capsule à l'action de la chaleur, il arrive un moment où le contact s'établit entre la capsule et le sel, et celui-ci brûle comme dans le premier temps de l'expérience.

Ainsi, l'azotate d'ammoniaque nous présente ce phénomène curieux et inattendu d'un corps alternativement combustible et incombustible..., incombustible dans des circonstances où il devrait brûler rapidement.

Lorsqu'on fait cette expérience dans l'obscurité, on voit le sphéroïde d'azotate d'ammoniaque enveloppé par une atmosphère lumineuse, mais lumineuse à une petite distance du sphéroïde proprement dit, en sorte qu'il semble être formé de trois sphéroïdes concentriques : le sphéroïde fluide non lumineux, au centre; une atmosphère gazeuse obscure, et enfin l'enveloppe extérieure lumineuse. Je recommande cette expérience à l'attention des savants, en leur faisant observer qu'elle ne réussit pas toujours.

Ces expériences sur le même corps, si différentes dans leurs résultats, me semblent tout à fait propres à justifier les espérances que j'ai conçues de ce nouveau mode d'action de la chaleur sur la matière.

73ᵉ *Expérience.* — On place un creuset d'argent ou de platine dans un bain d'huile à + 90°, et l'on y projette quelques gouttes

d'éther, en prenant les précautions indiquées dans la description de la 2e expérience (1). Cet éther passe à l'état sphéroïdal, et sa température, d'après la loi formulée dans la première partie de cet ouvrage, est inférieure à celle de son ébullition, elle est de + 34°,25. On élève graduellement la température du bain jusqu'à + 300°, et même au delà, et la température de l'éther reste invariable. Dans une obscurité profonde, on aperçoit, à toutes les phases de l'expérience, une flamme d'un bleu clair peu apparent, qui ondule dans le creuset dont elle remplit toute la capacité.

Cette flamme rare et transparente est le signe d'une métamorphose profonde que subit l'éther; elle est caractérisée par le dégagement d'une vapeur dont l'odeur vive et pénétrante irrite fortement la muqueuse nasale et les conjonctives. Cette odeur, on ne saurait s'y méprendre, appartient exclusivement à l'aldéhyde. L'équation suivante rend clairement compte de sa formation :

$$C^4H^5O + 2\,O = C^4H^4O^2 + HO.$$

Mais la réaction n'est pas toujours aussi simple et aussi nette, et l'azote paraît être absorbé dans certaines circonstances qui donnent lieu à la formation d'un sel ammonique, fulminate? azotate? qui brûle à la fin de l'expérience avec beaucoup d'éclat. Ce produit combustible se forme surtout avec de l'éther conservé pendant quelque temps dans un flacon à moitié plein que l'on débouche fréquemment. L'éther que l'on trouve dans les pharmacies convient donc très bien pour tenter cette expérience.

D'un autre côté, il se fixe une certaine quantité d'oxygène sur l'éther à l'état sphéroïdal qui donne lieu à la formation d'un acide très énergique. Il va sans dire que l'éther est alors difficilement combustible.

Quelle est la nature de cet acide? C'est ce que des expériences ultérieures nous apprendront.

(1) Quand on ne tient pas à faire l'expérience à des températures rigoureusement déterminées, il est préférable de se servir de la lampe à double courant; elle est plus commode et plus propre, et l'odeur d'huile ne se mêle point aux produits de la réaction.

Aussi, quand j'ai dit plus haut que la température de l'éther était invariable, cela devait s'entendre de l'éther qui n'avait point encore subi les réactions profondes qui viennent d'être indiquées, et c'est faute d'avoir tenu compte de ces réactions et du défaut d'équilibre de température qu'un physicien, d'ailleurs d'un mérite réel, s'est trompé en faisant servir ce mode d'expérimentation pour déterminer la chaleur de vaporisation d'un certain nombre de corps volatils non élémentaires.

Il n'est pourtant pas douteux que ce genre d'expérimentation ne constitue un instrument nouveau, un levier qui peut devenir précieux dans des mains habiles et prudentes; mais par cela même qu'il est nouveau et peu connu, il doit être manié avec infiniment de discrétion, autrement il pourrait devenir un instrument vicieux qui induirait en erreur celui qui ne s'en servirait pas avec toutes les précautions convenables.

La flamme rare et transparente dont il s'est agi un peu plus haut se montre très vive (comparativement) à une température supérieure à + 200°. Au-dessous de cette température, elle est moins apparente. A une température beaucoup plus élevée, l'éther s'enflamme et brûle avec la belle lumière blanche qu'on lui connaît, sans cesser pour cela d'être à l'état sphéroïdal.

Les métamorphoses qui viennent d'être signalées à l'attention des observateurs s'expliquent très facilement. Il suffit de se rappeler que l'éther n'est point soumis à la loi de l'équilibre de chaleur et qu'il subit l'action de l'air ambiant.

On obtiendrait des résultats analogues en faisant passer une petite quantité de vapeur d'éther et d'air atmosphérique dans un tube rouge de feu, ou bien en mêlant de l'éther avec de la ponce ou de la silice, de la mousse de platine, de la brique, etc., et en chauffant. Dans le premier cas, la vapeur provenant de l'éther à l'état sphéroïdal étant très raréfiée, est soumise à l'action de la chaleur dans un état de division extrême, et c'est pour cette raison que les résultats sont presque identiques, quand on divise, non-seulement l'éther, mais aussi toutes les substances sur lesquelles on expérimente, par des matières dures, inaltérables, et qu'on les soumet à l'action de la chaleur. Dans l'un et l'autre cas,

le calorique agit sur la matière molécule à molécule pour ainsi dire, et voilà pourquoi j'avais dit dès l'année 1839 (*Mémoire à l'Académie des sciences*) : « Cela peut devenir, dans les mains des » chimistes, un moyen puissant d'action, à l'aide duquel on » pourra obtenir des combinaisons nouvelles. » Tout cela, du reste, pouvait se déduire immédiatement du défaut d'équilibre de température et de la lenteur de l'évaporation des corps à l'état sphéroïdal.

Quand l'industrie aura besoin d'aldéhyde, on pourra facilement l'obtenir de l'éther ou de l'alcool à l'état sphéroïdal, ou plus directement encore du vin soumis à la distillation à l'état sphéroïdal, au contact de l'air.

Faisons remarquer, avant de passer à une autre expérience, que *des deux éléments combustibles de l'éther, un seul, l'hydrogène, brûle en quantité notable, sans flamme apparente*, et que sa température reste stationnaire, malgré les énormes variations du milieu dans lequel il se trouve.

Chez *les animaux, au contraire, c'est le carbone qui brûle en quantité notable et sans flamme apparente ;* mais leur température, comme celle de l'éther, est à peu près invariable et indépendante du milieu dans lequel ils se trouvent.

On sait, en effet, que l'homme (je le prends pour exemple) peut parcourir toutes les phases de son existence dans un milieu qui varie entre — 30° et + 40°, et qu'il peut supporter pendant quelque temps les températures comprises entre — 60° et + 150°.

La maladie redoutable connue sous le nom de combustion humaine spontanée paraît se lier étroitement à cet ordre de phénomènes. Peut-être parviendrons-nous à jeter quelque jour sur les causes de cette terrible maladie qui attaque plus particulièrement les buveurs d'eau-de-vie, et dont on n'a pas donné jusqu'ici d'explication satisfaisante.

Peut-être aussi trouverons-nous dans ces singulières analogies que « tout est lié dans la nature, et que ses lois générales en» chaînent les uns aux autres les phénomènes les plus dispa» rates, » et qui ne nous paraissent tels que par l'ignorance où nous sommes des rapports qui les unissent entre eux.

Empressons-nous d'ajouter que ces analogies n'existent qu'entre la matière inanimée et la matière animée obéissant au balancement de certaines forces physiques, inconnues dans leur essence, et non de l'homme psychique dont la nature intime est un problème qui sera éternellement insoluble. Du reste, on comprendra que ce sujet peut acquérir une grande importance en présence de faits actuellement inconnus et que l'avenir peut révéler.

Ce que j'ai dit de la fixité de la température des animaux est également applicable aux végétaux qui, en général, ont aussi une température fixe et indépendante de celle du milieu ambiant. Il n'est personne qui n'ait remarqué l'isolement du pied des arbres dans la neige, ce qui est la preuve certaine d'une température plus élevée dans l'arbre. On explique ce phénomène en disant que les végétaux sont mauvais conducteurs du calorique; mais c'est une explication, comme tant d'autres, qui n'explique rien du tout. Je me bornerai donc à faire remarquer l'analogie qui existe, sous le rapport de la température, entre les animaux, les végétaux et les corps à l'état sphéroïdal.

Nous terminerons la description de cette expérience, déjà un peu longue, par le parallèle que voici :

PROPRIÉTÉS	
DE LA MOLÉCULE INANIMÉE à l'état sphéroïdal (éther).	DE LA MOLÉCULE ANIMÉE (animal).
Angles arrondis; fixité ou variation insensible de température, quelle que soit celle du milieu ambiant; combustion lente de l'un de ses éléments combustibles (hydrogène).	Angles arrondis; fixité ou variation insensible de température, quelle que soit celle du milieu ambiant; combustion lente de l'un de ses éléments combustibles (carbone).

Un peu de carbone brûle dans l'éther, de même qu'un peu d'hydrogène brûle dans l'animal, et cela ne fait que rendre l'analogie plus complète.

L'éther, à l'état sphéroïdal, ne nous représente-t-il pas le phénomène de la *respiration de la matière inorganique?*

Si l'on admet avec Dumas que les végétaux sont des appareils de réduction et les animaux des appareils de combustion ou

d'oxydation, l'analogie entre la molécule animée et la molécule à l'état sphéroïdal devient encore plus frappante. (Voy. la 92e expérience, et le résumé de la 2e et de la 3e partie à la fin de l'ouvrage.)

On pourrait faire un mélange d'éther, d'alcool et d'ammoniaque, dont la température à l'état sphéroïdal serait de + 37° à + 38°, c'est-à-dire égale à celle des animaux d'un ordre supérieur. On aurait alors la molécule animale avec ses propriétés physiques et chimiques essentielles, et sa composition élémentaire : oxygène, hydrogène, azote, carbone. Il ne lui manquerait plus que d'être animée par la *force vitale*, cette force mystérieuse, contre laquelle viennent échouer tous les efforts des penseurs.

Ces faits et ces analogies ne sont-ils pas dignes d'être profondément médités par les esprits synthétiques ?

Je crois devoir placer ici quelques vues théoriques sur l'éthérisation ou *asphyxie par substitution.*

En 1843, j'ai publié dans le *Bulletin de thérapeutique* de Miquel, une *Note sur la transformation de l'éther en aldéhyde et sur l'emploi de sa vapeur en médecine* (1). Dans cette note, je rappelais en quelques mots les phénomènes remarquables que présente l'éther à l'état sphéroïdal, les métamorphoses profondes qu'il subit sous l'influence de cette modification moléculaire, et j'appelais l'attention du corps médical sur les propriétés de l'aldéhyde en vapeur. Voici les deux derniers paragraphes de cette note.

« Lorsque je me livrais à l'étude de ces beaux phénomènes, et » que je restais enveloppé dans une atmosphère contenant beau- » coup d'aldéhyde, j'éprouvais un bien-être tout particulier, qui ne » ressemblait en rien à l'excitation produite par l'usage d'un bon » vin, pris en quantité modérée ; il me semblait que j'avais plus » de lucidité dans les idées et plus de souplesse dans les membres.

» Telle est, en peu de mots, l'action de l'aldéhyde sur l'écono- » mie animale. Ne serait-il pas utile de tenter quelques expérien- » ces sur son emploi, en vapeur, contre certaines maladies chro- » niques des voies aériennes ? Quand il ne servirait qu'à procurer » quelques heures de bonheur à de malheureux malades, cela

(1) Numéros des 15 et 30 mars 1843.

» vaudrait bien la peine d'en faire l'essai. Il y a là une question » d'humanité; la poser à des médecins, c'est la poser avec la cer- » titude de la voir promptement résolue. »

Comme on le voit, j'en étais à la période d'excitation de l'inhalation de l'éther ; un pas de plus et j'arrivais à la période d'insensibilité ou d'*asphyxie par substitution*. Il n'est pas douteux que celui-là qui aurait tenté l'emploi de la vapeur d'aldéhyde sur un seul malade n'eût fait l'importante découverte qui excite si vivement et si justement l'attention publique.

Du reste, je ne rappelle les quelques mots publiés dans le *Bulletin de thérapeutique*, que pour montrer une fois de plus la lenteur de la marche de l'esprit humain, et combien il faut de temps pour découvrir une seule des propriétés de la matière. Il est évident que j'ai tourne vingt fois autonr de la plus utile découverte de notre époque : c'est que son heure n'était pas encore venue (1).

Cela dit, je vais examiner au point de vue chimique l'action anesthésiante de l'éther, en prenant pour bases de mon raisonnement des faits et des analogies remarquables.

Dans l'acte de la respiration, que l'oxygène soit absorbé et porte dans le torrent de la circulation, ou qu'il se combine avec le carbone du sang veineux dans les cellules pulmonaires, il n'en est pas moins vrai que ce phénomène constitue une véritable combustion, mais une combustion lente et sans flamme.

Il y a entre cette combustion et celle du charbon dans le gaz oxygène, la différence que l'on remarque entre l'oxydation lente du fer et sa combustion si éclatante dans le gaz oxygène.

La science possede aujourd'hui un certain nombre de faits ayant quelque analogie avec la respiration proprement dite et le phénomène de la respiration inorganique. Rappelons-en quelques-uns ici.

Citons d'abord un fait relatif au carbone. Toutes les personnes qui ont quelque habitude des armes à feu ont remarqué la couleur

(1) Ceci était écrit en 1847, et a été imprimé en janvier 1848 dans le *Répertoire de pharmacie* de M. Bouchardat.

noire de l'intérieur du canon, quand on a tiré plusieurs fois de suite, et aussi que cette couleur noire disparaissait au bout d'un laps de temps plus ou moins long, par suite de la combustion lente du carbone qui fait toujours partie des cendres de la poudre. Et pourtant le carbone est considéré comme une des substances les plus inaltérables que nous possédions. Mais il ne faut pas perdre de vue, dans le cas que je viens de citer, la division extrême du charbon au milieu d'une certaine quantité de sulfure de potassium.

Je n'examine pas ici quelle forme revêt le carbone en disparaissant; je n'examine pas si c'est à l'état d'oxyde, d'acide ou de sulfure. Je constate un fait et rien de plus, un fait qui n'a été consigné nulle part que je sache.

L'an dernier, M. Dumas a constaté un fait analogue, mais relatif au soufre. On a remarqué que les toiles soumises à l'action des vapeurs d'eau chargée d'acide sulfhydrique se détruisaient rapidement par suite de la formation ultime de l'acide sulfurique.

Voici un autre fait sur le même métalloïde :

J'avais observé, dès l'année 1838, que l'acide sulfureux à l'état sphéroïdal, dans une atmosphère humide, absorbait de l'oxygène et donnait d'abondantes vapeurs d'acide sulfurique. De nouvelles observations ont confirmé ce fait, qui m'avait fait croire à la possibilité de fabriquer de l'acide sulfurique sans le secours de chambres de plomb.

On sait par expérience que l'éther hydrique, l'éther acétique, l'éther nitreux, l'éther chlorhydrique, le chloroforme, le chlorure et le sulfure de carbone, et un grand nombre de carbures d'hydrogène à l'état sphéroïdal, brûlent sans donner de flamme apparente, et donnent naissance à des produits nombreux qu'il est facile de se représenter en se rappelant la composition des substances précitées.

C'est à cette combustion lente que j'ai donné le nom de *respiration de la matière inorganique.*

Se passe-t-il quelque chose d'analogue dans le poumon des animaux? Évidemment, oui. La formation de l'acide carbonique dans l'acte de la respiration en est une preuve éclatante.

Déjà MM. Lassaigne et Blandin ont constaté que les animaux éthérisés par l'oxyde d'éthyle donnaient plus d'acide carbonique que dans l'état normal. Cela devait être, ainsi que je l'établirai plus loin.

On sait que le protoxyde d'azote, qui a une influence si agréable sur certaines constitutions, est meurtrier pour d'autres; et cela se conçoit aisément, si l'on admet que sous certaines influences atmosphériques, d'une part, et pathologiques de l'autre, le protoxyde d'azote peut donner lieu à la formation de petites quantités de bioxyde d'azote, et par suite à de l'acide hypo-azotique (1).

Tout le monde connaît l'influence pernicieuse de l'odeur des fleurs dans un appartement, influence d'autant plus dangereuse que l'odeur est plus agréable et que les fleurs sont en plus grande quantité. On cite des cas d'asphyxie suivie de mort par la présence des fleurs en abondance dans une chambre à coucher.

Les anciens, qui s'enivraient de parfums, ne s'éthérisaient-ils pas ?

Personne n'ignore le danger de coucher dans une chambre qui vient d'être peinte à l'essence de térébenthine, et tout le monde connaît l'influence de la vapeur de cette essence et de celle des essences du même goupe sur les urines, auxquelles elles donnent une *odeur de violette* très prononcée.

J'ai la connaissance personnelle d'un cas d'asphyxie suivi de mort par la vapeur d'essence de térébenthine.

L..., épicier, étant sur le point de se marier, avait remis ses appartements à neuf en finissant par sa chambre à coucher. C'était la veille de son mariage. Il y coucha comme à l'ordinaire, et le lendemain matin on le trouva sans vie dans son lit. La mort de ce malheureux jeune homme fut attribuée à la vapeur d'essence de térébenthine, et je crois que c'était avec raison.

Mais cette cause d'asphyxie ne serait pas aussi simple qu'elle le paraît. Il résulte, en effet, des observations de M. Bouvier (2),

(1) Si l'on se rappelle que le poumon agit à certains égards comme l'éponge de platine, comme l'état sphéroïdal qui est un excellent moyen d'oxydation, la supposition que je fais n'est rien moins qu'inadmissible.

(2) Voyez l'*Ami des sciences* des 23 et 30 décembre 1855, 13 et 20 janvier 1856.

que les peintres sur porcelaine peuvent vivre impunément dans une atmosphère saturée de vapeur d'essence de térébenthine. Il est vrai que la surface joue, dans ce cas, un rôle fort important, et dont il faut tenir grandement compte. Toutefois la différence de surface entre l'essence employée dans un atelier de peinture et celle qui recouvre les murs d'un appartement, n'explique pas d'une manière tout à fait satisfaisante l'influence fâcheuse, souvent fatale, du séjour, pendant la nuit, dans un appartement nouvellement peint, et il faut admettre de toute nécessité d'autres causes d'asphyxie. Ne pourrait-on pas supposer avec beaucoup de raison, que les huiles se dédoublent, se transforment en acides oléique et linoléique, se combinent avec l'oxyde du carbonate de plomb, et mettent de l'acide carbonique en liberté? Rien de plus rationnel assurément, car tout cela se déduit de l'expérience. Mais dans la peinture à l'oxyde de zinc, ce n'est plus la même chose, là plus d'acide carbonique à dégager, et il faut avoir recours à une autre théorie.

On sait que les huiles, en se solidifiant, c'est-à-dire en séchant ou en se résinifiant, absorbent de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique. Ainsi il y aurait dans ce seul fait deux causes puissantes qui vicieraient l'atmosphère : absorption d'oxygène, d'une part, et de l'autre émission d'acide carbonique; qu'on ajoute à ces deux causes l'action de l'essence de térébenthine ou d'un carbure d'hydrogène provenant du dédoublement de cette essence, et l'on concevra sans peine l'action délétère de l'atmosphère d'une chambre nouvellement peinte.

Du reste, c'est un point qui appelle de nouveau l'attention des investigateurs, et nous prenons la liberté de le recommander à l'attention des chimistes et des physiologistes; ils reconnaîtront sans peine qu'il y a là un très beau et très utile sujet de recherches (1).

(1) M. Marchal, de Calvi, a publié sur ce sujet un Mémoire d'un grand intérêt qu'on trouvera dans l'*Union médicale* des 13, 15, 18 et 20 mars 1856. Ce travail a pour titre *Mémoire sur l'empoisonnement par la vapeur d'essence de térébenthine.* Le savant professeur du Val-de-Grâce admet en partie notre théorie, mais il croit en même temps à une action spéciale de la vapeur d'essence de térébenthine sur l'axe cérébro-spinal.

Voici maintenant deux expériences que j'ai faites sur moi-même.

Je rappellerai ici que le chlore est à l'état latent dans le chlorure d'éthyle et dans le chloroforme (1), d'où il suit que ces deux liquides peuvent être agités avec une solution d'azotate d'argent sans qu'il y ait formation de chlorure d'argent. Mais si l'on fait passer l'une ou l'autre de ces combinaisons à l'état sphéroïdal, le chlore est mis en liberté et agit sur la solution d'azotate. Cela rentre dans les cas de combustion lente ou respiration inorganique que j'ai signalés plus haut.

Pour savoir si des phénomènes semblables s'accomplissaient sous l'influence des forces vitales, j'ai respiré successivement des vapeurs de chloroforme et de chlorure d'éthyle, et j'ai fait passer l'air expiré au travers d'une solution d'azotate d'argent, qui a perdu sa transparence et qui l'a recouvrée par l'addition de l'ammoniaque. Il est évident, d'après cela, que le chlorure d'éthyle et le chloroforme sont décomposés dans la poitrine comme ils le sont à l'état sphéroïdal.

Mais il reste à faire, dans cette direction, des expériences quantitatives sur l'acide carbonique, l'eau et l'acide chlorhydrique produits.

Faisons observer, à l'occasion des expériences précédentes, que les combinaisons dans lesquelles il entre du chlore pourront avoir des inconvénients par suite de sa mise en liberté au contact des poumons, soit à l'état élémentaire, soit à l'état d'acide chlorhydrique. Ces inconvénients se présenteront principalement chez les sujets réfractaires, c'est-à-dire, ceux qui demandent l'emploi d'une grande quantité de matière anesthésiante.

Je connais deux personnes qui, après avoir été soumises à l'action du chloroforme, ont été affectées de la grippe (bronchite aiguë avec céphalalgie.)

Il est à remarquer que toutes les substances employées pour produire l'insensibilité appartiennent à des combinaisons volatiles et oxydables à une basse température.

(1) On sait que M. Flourens est le premier physiologiste qui ait eu l'idée d'employer d'autres combinaisons que l'éther pour produire l'insensibilité.

Ne peut-on pas en inférer que toutes les substances volatiles et oxydables à une basse température seront propres à produire les bienfaits de l'éthérisation? On n'en saurait douter, et je pense qu'un carbure d'hydrogène dont le point d'ébullition serait de + 10° à + 15° serait le meilleur des anesthésiants. Mais c'est à l'expérience à prononcer définitivement sur ce point, comme sur tant d'autres.

Et si j'indique un carbure d'hydrogène, plutôt qu'une autre combinaison, c'est que l'oxygène que nous respirons se porte à peu près exclusivement sur le carbone et l'hydrogène pour former de l'acide carbonique et de l'eau.

On comprendra maintenant facilement ce que j'entends par asphyxie par substitution.

La vapeur anesthésiante arrive dans les poumons avec de l'air. Une partie de cette vapeur est absorbée par la surface pulmonaire et portée dans le torrent de la circulation, d'où l'excitation qui précède l'insensibilité. L'autre partie absorbe une certaine quantité, sinon la totalité de l'oxygène de l'air, et donne lieu à un dégagement plus abondant d'acide carbonique et d'eau, ainsi que l'ont observé MM. Lassaigne et Blandin. Comme on voit, cette théorie est très simple. La vapeur anesthésiante se substitue au poumon, absorbe l'oxygène qui était destiné à celui-ci, au moins en partie, et l'asphyxie se produit incomplétement dans la plupart des cas et complétement dans d'autres. C'est à prévenir ce dernier et déplorable résultat que tous les efforts doivent tendre désormais. L'emploi de l'oxygène ne sera-t-il pas indiqué par tout le monde?

Ainsi, dans l'asphyxie proprement dite, la mort survient faute d'oxygène; dans l'asphyxie par substitution, au contraire, l'oxygène ne manque pas, mais il se combine en partie avec la vapeur anesthésiante au lieu de se porter sur les poumons, d'où la suspension momentanée de la sensibilité.

Quant aux corps autres que le carbone et l'hydrogène des combinaisons anesthésiantes, tels que le chlore, l'acide hypo-azotique, etc., je les crois inutiles, mais non sans inconvénients.

L'insensibilité qui accompagne l'ivresse ne corrobore-t-elle

pas cet essai de théorie ? L'alcool absorbé est porté dans la circulation, arrive dans le poumon où il absorbe l'oxygène destiné au sang. Tout le monde sait que l'exhalation pulmonaire pendant l'ivresse a une odeur alcoolique.

Ce phénomène, se renouvelant fréquemment et sans interruption complète, ne pourrait-il pas faire perdre aux poumons la faculté d'absorber l'oxygène ? Alors, la combustion lente qui s'opère dans cet organe à l'état normal se ferait avec plus d'intensité à la surface du corps, et constituerait la maladie terrible connue sous le nom de *combustion spontanée*, maladie qui attaque surtout les buveurs d'eau-de-vie.

Aujourd'hui les vues théoriques qui viennent d'être exposées sont pleinement confirmées en ce qui touche l'action anesthésiante des carbures d'hydrogène. M. Simpson a reconnu, en effet, que le naphte artificiel (*coal tar naphta*) est un moyen anesthésique tout aussi puissant que le chloroforme. L'anesthésie produite par le naphte est, dit-il aussi rapide et aussi complète qu'avec le chloroforme (1).

M. Duroy, pharmacien à Paris, a adressé à l'Académie des sciences un très bon mémoire qu'il a publié ensuite dans l'*Union médicale* du 7 mai 1850, *sur l'emploi de l'oxygène contre les accidents du chloroforme et les asphyxies*. Dans ce travail, M. Duroy établit par de nombreuses expériences que l'oxygène est l'antidote des anesthésiants et qu'il est éminemment propre à combattre les accidents qui suivent l'inhalation de ces modificateurs puissants. « On comprend sans peine, dit-il, que l'oxygène doit avoir une » énergie supérieure à celle de l'air ordinaire, énergie indis» pensable pour ranimer et rétablir vivement l'hématose et la cir» culation du sang ; en un mot, la vie. »

Ainsi, sur ce point encore (l'emploi de l'oxygène comme antidote des anesthésiants), des recherches ultérieures sont venues confirmer la théorie.

74e *Expérience.* — En opérant sur l'alcool comme on vient de le faire sur l'éther, on voit des phénomènes analogues, et l'on

(1) *Journal de pharmacie et de chimie*, avril 1849.

obtient des résultats entièrement identiques ; ils sont moins tranchés, et cela doit être, les produits de la combustion lente étant dilués dans une plus grande quantité de vapeur d'eau.

75e *Expérience.* — Ce qui vient d'être dit de l'alcool est applicable à l'esprit de bois. Cependant un odorat exercé trouve de la différence entre l'odeur caractéristique de la vapeur d'éther à l'état sphéroïdal et celle de l'esprit de bois placé dans les mêmes conditions. Le sphéroïde d'esprit de bois paraît absorber une plus grande quantité d'oxygène et donner naissance à un acide plus énergique.

Des expériences rigoureuses sont nécessaires pour résoudre ces questions intéressantes.

On sait que l'alcool mis en présence du noir de platine se transforme en acide acétique, et l'esprit de bois en acide formique (1). Si les mêmes transformations avaient lieu par l'influence de l'état sphéroïdal, ce serait une raison de plus pour admettre que nous sommes bien réellement en présence des atomes avec leurs propriétés intimes, leurs attractions et leurs répulsions, et ce serait un grand pas de fait dans cette branche des connaissances humaines, car la géométrie pourrait enfin appliquer ses méthodes savantes à l'étude des particules dernières de la matière, résoudre les problèmes les plus ardus qui s'agitent depuis le berceau de la philosophie, et dissiper pour toujours les ténèbres qui enveloppent cette partie si importante de la science.

76e *Expérience.* — On chauffe une capsule hémisphérique de cuivre parfaitement décapé ; la chaleur ne tarde pas à y faire naître une couche d'oxyde qui présente, depuis le commencement jusqu'à la fin de sa formation, toute la série des anneaux colorés. Lorsque la couleur ne varie plus, on abaisse la mèche de la lampe pour faire descendre la température de la capsule à + 250° environ, puis à l'aide d'une pipette capillaire, on y fait arriver obliquement un courant d'éther qui, mis en contact par sa vapeur avec toutes les parties de la capsule, réduit instantanément tout le bioxyde de cuivre, et la capsule recouvre tout son

(1) Dumas, *Traité de chimie appliquée aux arts*, t. V, p. 424.

éclat métallique. L'éther alors est acide et n'est plus combustible, ou ne l'est qu'imparfaitement.

Cette expérience ne réussit pas toujours complétement; mais la partie de la capsule correspondant au diamètre horizontal du sphéroïde est constamment brillante, ce qui prouve bien évidemment l'action désoxydante de l'éther, et que les molécules de sa vapeur sont dans le rayon d'action chimique de l'oxyde de cuivre.

Dans tous les cas, il se forme considérablement d'aldéhyde; dans tous les cas aussi, lorsqu'on observe les sphéroïdes jusqu'à leur entière évaporation, il reste un point charbonneux qui finit par brûler avec dégagement de lumière, et *il en est ainsi de toutes les combinaisons contenant du carbone*, à l'exception du sulfure, ce qui me paraît être l'indice d'une grande stabilité chimique dans cette dernière combinaison.

77ᵉ *Expérience.* — On prend une capsule hémisphérique d'argent, de la capacité de 20 à 25 centimètres cubes et du poids de 85 grammes; les parois de cette capsule ont de 4 à 5 millimètres d'épaisseur. On la fait rougir et l'on y projette 8 à 10 grammes d'un vin quelconque, et voici ce qu'on observe quand on opère dans un lieu obscur: l'alcool du vin s'enflamme et brûle avec l'odeur qui lui est propre et qui est à peu près nulle; ou bien l'alcool ne s'enflamme pas, et il se dégage alors tant d'aldéhyde qu'il est impossible de rester exposé à l'action de sa vapeur. J'ai obtenu cette dernière réaction avec trois échantillons de vin, et la première avec deux autres échantillons. J'ai quelques raisons pour croire que ces deux échantillons étaient purs, et que les trois autres avaient été *vinosés*, c'est-à-dire additionnés d'eau et d'alcool.

Je recommande cette expérience aux chimistes qui habitent des pays vinicoles; je la recommande particulièrement à M. Fauré, de Bordeaux, auquel on doit un beau travail sur les vins; peut-être trouveront-ils dans cette réaction un moyen propre à dévoiler la fraude; car, contrairement à l'opinion de M. le professeur Girardin de Rouen, la chimie est impuissante à faire connaître si un vin quelconque a été additionné d'eau et d'alcool, surtout lorsque

ce mélange est fait dans certaines proportions bien connues des chimistes.

78e *Expérience.* — On prend du chlorure d'éthyle très pur, on le fait passer à l'état sphéroïdal à la plus basse température possible, et l'on reçoit la vapeur qui se dégage du creuset dans des cloches mouillées intérieurement avec une solution d'azotate d'argent. Celle-ci se trouble, et l'on peut recueillir du chlorure d'argent représentant le chlore contenu dans le chlorure d'éthyle. Il est évident que l'éther est décomposé dans cette circonstance, et que le chlore, de latent qu'il était, est devenu libre. Peut-être cette expérience, exécutée en vase clos et dans le vide, permettra-t-elle un jour d'isoler enfin l'éthyle, si tant est que l'éthyle existe.

79e *Expérience.* — Un mélange d'acide sulfurique et d'alcool, projeté dans une capsule chauffée à une température convenable, se comporte diversement et suivant les proportions du mélange. Ainsi, lorsque le mélange bout à une température inférieure à celle qui est nécessaire à la ségrégation de l'alcool, à sa conversion en eau et en éther, il ne se forme pas du tout d'éther. Le mélange bout-il à une température supérieure à celle qui est nécessaire à sa formation, on voit naître d'autres produits, et les réactions sont caractérisées, dans ce dernier cas, par la coloration de plus en plus foncée du mélange. Mais les réactions, dans quelques conditions que l'on se trouve, n'ont pas la netteté que l'on vient de voir : le produit formé par l'action combinée de l'acide et de la chaleur subit de nouvelles métamorphoses aussitôt qu'il est en dehors de la sphère d'attraction du sphéroïde, métamorphoses qu'il est facile de se représenter et de comprendre en se rappelant ce qui a été dit plus haut.

Ainsi, dans ces sortes d'expériences, la réaction a deux temps bien marqués. Dans le premier temps, on obtient un produit que l'on obtiendrait à la température que possède le sphéroïde ; dans le deuxième, on voit naître le produit, que l'on obtiendrait de celui obtenu dans le premier temps, en le faisant passer à l'état sphéroïdal : aussi se dégage-t-il presque toujours d'abondantes vapeurs d'aldéhyde.

Je ne crois pas impossible d'obtenir de l'éther, de l'alcool sans le secours d'un acide, en le faisant tout simplement passer à l'état sphéroïdal dans un appareil vide d'air et en recueillant les produits dans des récipients convenablement disposés. Et si mes espérances se réalisaient sur ce point, que de problèmes intéressants seraient tout d'un coup résolus! La 78me expérience ne permet-elle pas de croire à la possibilité d'un tel résultat?

80e *Expérience.* — Si l'on projette dans une capsule de platine, chauffée à + 300° environ, quelques gouttes d'un mélange d'acide azotique et d'alcool, on obtient des produits qui varient avec la quantité d'acide du mélange ; on peut même dire qu'ils varient constamment, car l'alcool s'évaporant le premier, le mélange se concentre de plus en plus, et la température du sphéroïde s'élève proportionnellement. Aussi le mélange se colore-t-il rapidement vers la fin de l'opération qui se termine ordinairement par l'explosion du mélange. D'autres fois des explosions partielles ont lieu et de petits sphéroïdes roulent autour de celui d'où ils émanent : *ce sont comme des satellites d'une petite planète.*

Mais, si au lieu de suivre l'expérience dans toutes ses phases, comme il vient d'être dit, on ajoute de l'alcool en quantité correspondante à celle qui s'évapore, l'opération peut durer indéfiniment. Quel est le produit de cette espèce de distillation? Ce n'est vraisemblablement que de l'alcool, et ce n'en est que plus curieux.

Je dois dire ici que toutes les expériences qui se font avec des acides et des composés combustibles sont dangereuses. Il est toujours prudent de se garantir la figure au moyen d'un écran de verre.

81e *Expérience.* — On fait rougir une capsule et l'on y projette de l'ammoniaque qui devient immédiatement opaque. Ce phénomène est dû à des myriades de bulles microscopiques qui se forment dans le sphéroïde ; ces bulles se réunissent, grossissent et viennent crever à la surface : la liqueur est alors transparente.

Tous les liquides qui contiennent des gaz se comportent comme l'ammoniaque, sauf quelques exceptions; c'est un assez bon

moyen pour reconnaître si une eau quelconque contient des gaz en dissolution.

Si l'on plonge le bout d'une allumette, ayant un point en ignition, dans une bulle d'ammoniaque, elle s'éteint rapidement ; et cela doit être, dira-t-on, ces bulles étant pleines de vapeur d'eau et d'ammoniaque. Assurément la chose est vraisemblable et peut-être elle est vraie ; néanmoins je crois que l'ammoniaque forme la plus forte partie, sinon la totalité, du fluide élastique que la bulle contient. Cette opinion est fondée sur l'expérience suivante qui appartient à M. Dumas. J'en ai été un des premiers témoins, et elle m'a vivement intéressé.

82ᵉ *Expérience.* — M. Thenard avait reconnu que l'eau oxygénée, qui se décompose avec tant de facilité dans la plupart des cas, ne détonait pas quand on la projetait sur une surface incandescente : c'était une anomalie. Aujourd'hui que l'on connaît quelques-unes des propriétés des corps à l'état sphéroïdal, c'est un fait tout simple qui n'a plus rien qui doive surprendre.

M. Dumas, partant de cette donnée, a projeté de l'eau oxygénée dans une capsule incandescente, et elle s'est comportée comme l'ammoniaque ; il a plongé à plusieurs reprises dans les bulles l'extrémité d'une allumette ayant quelques points en ignition, et chaque fois elle se rallumait et brûlait avec éclat. N'est-ce pas là une expérience fort curieuse? Ne prouve-t-elle pas que les bulles contiennent plus de gaz que de vapeur? Elle offre plus d'intérêt encore sous le rapport philosophique, et me paraît tout à fait propre à résoudre la question si controversée de savoir si l'on doit dire *eau oxygénée* ou *bioxyde d'hydrogène*, et si la formule de ce corps doit être H^2O+O ou H^2O^2.

Jusqu'ici il n'a pas été possible de solidifier ce composé extraordinaire, on ne peut donc pas dire qu'il est susceptible de cristalliser ; sa densité est de 1,452, mais celle de sa vapeur est inconnue ; son point d'ébullition ne saurait être connu, parce qu'il se décompose aussitôt qu'on le chauffe. Sa décomposition commence à $+20°$, néanmoins il peut être distillé dans le vide, sans décomposition apparente. Toutefois la densité du produit distillé n'a point été vérifiée, et l'on ignore si elle est égale à

celle de l'eau oxygénée avant la distillation. Enfin, ce produit ne se conserve pas au delà de quelques jours, et quelques-unes de ses propriétés sont absolument les mêmes, soit qu'il contienne 475, 400, 300, 200, 100......9 *fois son volume d'*O. Jusqu'à ce jour, il n'a pas été possible d'obtenir de l'eau oxygénée parfaitement pure; elle contient toujours des traces d'acide sulfurique.

Beaucoup de métaux divisés, projetés dans l'eau oxygénée, la décomposent plus ou moins rapidement, et d'autant plus qu'ils sont plus divisés et que l'eau est plus concentrée. C'est un phénomène parfaitement analogue à celui que présentent les solutions gazeuses, quand on y projette des poudres quelconques. Ainsi, une pincée de sucre augmente considérablement le dégagement d'acide carbonique du vin de Champagne, de l'eau de Seltz, etc. C'est un fait bien connu, mais il n'en est pas de même de la cause qui le produit. Est-elle physique? est-elle mécanique? On l'ignore. Tout ce qu'on sait, c'est qu'elle n'est point chimique, mais elle peut le devenir dans quelques cas avec l'eau oxygénée.

Quelques métaux et quelques métalloïdes absorbent une partie de l'oxygène de l'eau oxygénée; d'autres n'en absorbent pas du tout.

Parmi les oxydes, il en est qui dégagent tout l'oxygène de l'eau oxygénée sans s'altérer, d'autres se suroxydent, d'autres enfin se réduisent: ce sont ceux d'argent, d'or, de platine, etc.

Il me semble, d'après ce qui vient d'être exposé, que l'oxygène existe dans l'eau oxygénée en vertu de l'affinité qui préside aux dissolutions, et non de celle qui produit les combinaisons; ou bien ce serait une de ces combinaisons auxquelles serait parfaitement applicable la sentence: *Natura non facit saltus*, du célèbre naturaliste suédois.

En résumé, une véritable combinaison chimique doit être cristallisable ou volatile sans décomposition à une température invariable, ou entrer dans d'autres combinaisons sans altération. Or, l'eau oxygénée est incristallisable, son degré d'ébullition est inconnu, sa densité est de 1,452, mais on ignore celle de sa vapeur; elle n'a jamais été obtenue pure et elle ne saurait

se conserver longtemps sans altération ; de plus elle se comporte à l'état sphéroïdal comme tous les liquides qui contiennent des gaz en dissolution : l'eau oxygénée n'a donc ni la stabilité ni les véritables caractères d'une combinaison définie, dans le sens rigoureux du mot, et sa formule est H^2O+O et non H^2O^2, à moins que de nouvelles analyses ne viennent établir que ni l'une ni l'autre formule ne sont exactes.

En émettant mon opinion sur l'eau oxygénée en toute liberté et aussi en toute conscience, j'entends bien ne l'imposer à personne, et l'eau oxygénée n'en restera pas moins un des produits les plus intéressants de la chimie moderne.

83e *Expérience.* — Celle-ci appartient encore à M. Dumas. L'illustre professeur a projeté ce que l'on appelle de l'acide carbonique solide dans une capsule d'argent, presque plane, chauffée à blanc, puis de l'eau et de l'acide sulfureux anhydre. C'était une véritable macédoine physico-chimique dans laquelle il ne manquait que le principe fondamental des théories de la chaleur : l'équilibre du calorique.

En effet, la capsule était chauffée à + 1200° au moins ; la température de l'eau était de + 96°,5 ; celle de l'acide sulfureux, — 10°,5 ; celle de l'acide carbonique — 100° ; en tout, quatre températures dont les termes extrêmes étaient — 100° et + 1200°.

Les températures qui précèdent n'ont pas été prises directement, elles ont été déduites de la loi de la température des corps à l'état sphéroïdal. (Voyez le résumé de la première partie, à la fin du volume.)

84e *Expérience.* — L'ammoniaque, à l'état sphéroïdal, dissout l'iode en quantité notable, et cette dissolution, qui est d'un rouge hyacinthe, a la propriété de bleuir l'amidon.

L'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique sont sans action sur cette dissolution, en ce sens qu'*ils ne la décolorent pas, et qu'ils ne lui enlèvent pas la propriété de bleuir l'amidon ;* mais il n'en est pas de même de l'acide azotique : cet acide décolore la dissolution, la neutralise et en précipite l'iode dans un état de division extrême. Est-ce bien de l'iode ?

La facilité avec laquelle se forme l'iodure d'azote, lorsque

l'iode est mis en contact avec l'ammoniaque, devait me faire craindre qu'il ne s'en formât dans la circonstance que je viens de faire connaître; mais les craintes que j'avais n'étaient nullement fondées, car j'ai pu répéter vingt fois cette expérience, sans jamais obtenir d'iodure d'azote. Il ne s'en forme que dans le cas où on laisse refroidir la dissolution avec de l'iode indissous.

La dissolution de l'iode dans l'ammoniaque à l'état sphéroïdal est accompagnée de phénomènes qui méritent d'être remarqués.

Aussitôt que l'iode entre en contact avec l'ammoniaque, une sorte d'effervescence se manifeste, sans que pour cela cet alcali perde sa forme primitive; de légères vapeurs d'iode se dégagent de toutes parts; le mouvement tumultueux diminue de plus en plus, et l'on peut apercevoir alors des courants nombreux qui se dirigent et se croisent dans tous les sens avec une vitesse que l'œil peut à peine suivre : ce sont comme des tourbillons sans nombre. Ces tourbillons cessent à leur tour, la liqueur devient transparente et la dissolution est complète (1).

85ᵉ *Expérience.* — L'acide chlorhydrique à l'état sphéroïdal dissout l'iode, et il en résulte, comme avec l'ammoniaque, une liqueur d'un rouge hyacinthe, mais moins foncé que la dissolution ammoniacale.

Cette dissolution, étant additionnée d'une solution de potasse ou d'ammoniaque, se neutralise peu à peu, *puis se décolore tout d'un coup et ne possède plus la propriété de bleuir l'amidon*, à moins qu'on n'y ajoute du chlore, auquel cas la liqueur recouvre sa couleur et la propriété de bleuir l'amidon.

On doit se rappeler que la dissolution d'iode dans l'ammoniaque n'est pas décolorée par l'acide chlorhydrique, et l'on vient de voir que la dissolution d'iode dans cet acide est décolorée instantanément par l'ammoniaque. Cela n'est-il pas aussi curieux qu'inattendu?

Il se passe d'autres phénomènes pendant la dissolution de l'iode, que je crois devoir noter ici.

Dès que l'iode est en contact avec l'acide, on voit de grosses

(1) Voyez § VIII, p. 142.

bulles se former dans la masse du liquide, et puis, de temps à autre, on voit un jet de vapeur d'iode s'échapper du dessous de l'acide, et jamais de l'un des points quelconques qui se trouvent au-dessus de son horizon. Ce phénomène est fort singulier, et je ne l'ai observé qu'avec l'acide chlorhydrique.

En évaporant la dissolution iodochlorhydrique décolorée et neutralisée par l'ammoniaque, on obtient une masse saline dont une petite proportion est soluble dans l'alcool absolu. En faisant évaporer à une douce chaleur la solution alcoolique, on obtient de petits cristaux mamelonnés, légèrement colorés en jaune. Ces cristaux sont très avides d'eau et ils bleuissent l'amidon.

On a vu dans la 84e expérience l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique rester indifférents, étant ajoutés à une dissolution ammoniacale d'iode.

Dans la 85e expérience on voit, au contraire, une dissolution chlorhydrique d'iode se décolorer tout à coup par l'addition de l'ammoniaque, et perdre, en quelque sorte, ses propriétés primitives.

Représentons l'acide chlorhydrique par ...... A
— l'iode par.................. B
— l'ammoniaque par............ C

Faisons passer A à l'état sphéroïdal, faisons dissoudre B dans A, ajoutons suffisamment de C, et nous obtiendrons une combinaison incolore, dans laquelle certaines propriétés de B seront détruites.

Prenons les mêmes corps A, B, C. Faisons passer C à l'état sphéroïdal ; faisons y dissoudre B, ajoutons à la dissolution autant de A que nous voudrons, et la liqueur restera toujours colorée et elle aura conservé la propriété de bleuir l'amidon. Ici, comme on voit, B (l'iode) conserve toujours ses propriétés.

Ces résultats différents sont difficilement explicables. Il faut les accepter comme des faits, et reconnaître que ce n'est point en chimie que l'on peut dire :

» .... Qu'il n'importe guère,
» Que Pascal soit devant, ou Pascal soit derrière. »

Du reste, plusieurs faits analogues à ceux qui précèdent sont connus en chimie, et l'un des plus remarquables est celui qui a

lieu entre une solution de phosphate sodique et une solution de chlorure calcique. Si l'on verse goutte à goutte la première de ces solutions dans la seconde, on obtient le phosphate calcique neutre ; si, au contraire, on verse le chlorure calcique goutte à goutte dans le phosphate sodique, on obtient le sous-phosphate calcique des os. (Berzelius, t. IV, p. 71 et 72.)

86e *Expérience*. — L'acide azotique à l'état sphéroïdal dissout un peu d'iode. Pendant cette opération, il se dégage des vapeurs d'iode et des vapeurs blanches très épaisses, dont j'ignore encore la nature ; mais on peut conjecturer qu'elles appartiennent à la classe des acides. La couleur de la dissolution acide-azotique d'iode a de l'analogie avec celle de l'azotate de cobalt très étendue.

87e *Expérience*. — On sait que la dissolution d'amidon bleuie par l'iode se décolore si on la chauffe jusqu'à + 90°, et qu'elle se colore de nouveau quand on la laisse refroidir, pour se décolorer encore si on la fait chauffer une seconde fois, etc.

Cette teinture, si on la fait passer à l'état sphéroïdal, se décolore également, mais elle ne reprend pas sa couleur par le refroidissement, si l'expérience a duré quelque temps. Le chlore, additionné d'acide sulfurique, ne fait pas reparaître non plus la couleur bleue de cette teinture. Cet effet pouvait dépendre de deux causes : de la volatilisation de l'iode et de la transformation de l'amidon. Je me suis assuré que la volatilisation de l'iode était, sinon la seule, du moins la principale cause de ce phénomène.

Cette expérience est assez curieuse, quand on la fait dans une capsule formée par un segment de sphère d'un grand diamètre. En effet, si l'on fait tomber successivement cinq ou six gouttes de la solution dont il s'agit dans la capsule, en leur imprimant un mouvement de projection circulaire, on voit la première goutte être tout à fait incolore, tandis que la dernière est d'un beau bleu, et toutes les autres *se dégradent* entre la première et la dernière (1).

(1) Toutes les expériences sur l'iode ont été reproduites par M. Dorvault dans son excellente monographie de ce métalloïde, publiée sous le titre de *Iodognosie*. 1 vol. in-8. Paris, 1850.

88e *Expérience.* — Le chlorure de carbone à l'état sphéroïdal se décompose, du moins en partie, car il laisse du charbon sur la capsule; à une température très élevée, *il se dégage de belles vapeurs violettes*, mêlées de vapeurs blanches, dues à la combustion de cette combinaison. Le chlorure qui a servi pour cette expérience était-il pur?

89e *Expérience.* — Une solution d'albumine filtrée passe facilement à l'état sphéroïdal et devient opaque instantanément; il en est de même lorsque cette solution est mêlée avec de l'eau de chaux. Dans l'un et l'autre cas, les sphéroïdes ont un aspect vraiment singulier.

90e *Expérience.* — Un cristal de sulfate de soude, placé au milieu d'une petite quantité d'eau à l'état sphéroïdal, s'y dissout facilement. Un morceau de fer ne trouble pas non plus l'état sphéroïdal, il en est de même d'un morceau de glace.

Mais, lorsque le morceau de fer est assez long pour être en contact, d'une part avec la capsule, de l'autre avec l'eau, on la voit bouillir vivement par suite de la température qui lui est communiquée par le métal. Cette expérience ne montre-t-elle pas l'utilité des pointes que j'ai proposées comme un bon moyen pour préserver les chaudières des explosions? (Voy. 1re partie, § VII, *Chaudières à vapeur*.)

91e *Expérience.* — Si l'on ajoute de petits fragments de camphre à de l'acide azotique à l'état sphéroïdal, une partie brûle avec flamme, l'autre se dissout dans l'acide qui se colore fortement en jaune. Lorsque le camphre est dissous, le sphéroïde paraît être parfaitement homogène; mais cette apparence d'homogénéité cesse dès qu'il est mis en contact avec une surface froide; alors il se divise en deux parties, l'une qui est jaune et plus légère, l'autre qui est incolore et plus pesante. Je n'ai point encore examiné la nature chimique de ces deux liquides.

La couleur jaune et l'homogénéité apparente que j'ai signalées apparaissent à l'œil de l'observateur, quel que soit l'angle sous lequel on observe le sphéroïde. *Cela ne semble-t-il pas établir que la liqueur jaune légère enveloppe la partie incolore plus pesante à peu près comme les mers qui baignent quelques contrées du globe*

l'envelopperaient, n'étaient ses montagnes, ses vallées, ses abîmes sous-marins?

92e *Expérience.* — Une solution d'azotate ferreux devient rouge aussitôt qu'elle a été projetée dans une capsule chauffée à une haute température; des flocons d'oxyde ferrique se forment en même temps et nagent dans le sphéroïde dont ils troublent la transparence.

Cette expérience et quelques autres montrent que les corps à l'état sphéroïdal s'oxydent plus rapidement qu'à l'état liquide ordinaire, en raison sans doute de la surface qui se renouvelle constamment, de la température, et peut-être aussi d'une action moléculaire particulière.

L'acide sulfureux, qui n'absorbe l'oxygène à aucune température, l'absorbe lorsqu'il est sphéroïdalisé au contact de l'air humide et donne d'abondantes vapeurs d'acide sulfurique (1), et c'est ce qui m'avait fait croire à la possibilité de fabriquer de l'acide sulfurique sans le secours de chambres de plomb. M. Malétra, de Rouen, et moi, avons fait quelques expériences dans ce but, en 1840; mais des difficultés inattendues nous ont empêché de leur donner la snite qu'elles comportent.

L'état moléculaire particulier à l'état sphéroïdal est donc un très bon moyen d'oxydation et d'ozonisation (?).

93e *Expérience.* — L'acide chlorique passe facilement à l'état sphéroïdal, il se concentre et probablement se suroxyde. Puis de petits sphéroïdes sont projetés çà et là, marquant leur passage par une fumée blanche, épaisse, ayant l'odeur de l'acide azotique.

Si l'on recueille l'acide quand on a observé ces phénomènes, on lui reconnaît les propriétés suivantes: Il efface rapidement l'encre, décolore le papier gris, rougit la teinture de tournesol et la détruit presque immédiatement; il précipite les sels de potasse et d'argent; le précipité d'argent par cet acide est cristallisé; il est soluble dans l'ammoniaqne et dans l'eau froide; il se dissout en plus grande quantité dans l'eau bouillante, d'où il cristallise par le refroidissement.

(1) Voyez *Mémoire sur quelques phénomènes de caléfaction*, p. 12, Evreux, 1840.

Mis sur un support de charbon et traité par le chalumeau, ce sel fuse à la manière des chlorates et se décompose entièrement, laissant de l'argent métallique sur le charbon.

Cet acide résulte-t-il d'un mélange d'acide hyperchlorique et de chlore, ou bien est-ce un acide nouveau ? C'est ce que je ne décide pas, quant à présent. Cependant je suis plus porté à croire à l'existence d'un nouvel acide du chlore qu'à toute autre chose.

94ᵉ *Expérience.* — Nous avons dit que les liquides qui contiennent des gaz en dissolution laissent dégager d'abord ces gaz, et qu'ensuite leur évaporation continue, comme si le dissolvant était pur. Nous avons dit aussi qu'il y avait des exceptions à cette règle (81ᵉ *expérience*). En voici une que je signale à l'attention des chimistes.

L'acide chlorhydrique à l'état sphéroïdal s'évapore sans qu'il se forme ou se dégage une seule bulle, ce qui semble établir ou que l'acide se concentre, ou qu'il s'évapore sans subir aucune altération. Alors serait-il permis de conjecturer que l'acide chlorhydrique et l'eau forment une combinaison définie ? Aurions-nous un chlorhydrate d'eau comme nous avons un sulfate de cette *base ?* D'après M. Baudrimont, les acides anhydres n'existeraient pas ; mais dans le système de ce savant chimiste le chlorure d'hydrogène devrait-il être considéré comme un acide ?

Tout le monde comprendra qu'il y a là des expériences quantitatives à faire et qui seules pourront jeter quelque lumière sur ces difficiles questions.

95ᵉ *Expérience.* — Les huiles volatiles à l'état sphéroïdal se comportent toutes de la même manière, en ce sens que la proportion de carbone va toujours croissant dans le sphéroïde. Les produits qui se volatilisent diffèrent entre eux comme les huiles elles-mêmes. On conçoit qu'une huile oxygénée doive donner d'autres produits qu'un carbure d'hydrogène.

Je ne décrirai ici que l'expérience faite avec l'essence de térébenthine, sauf à revenir sur chacune d'elles quand je reprendrai un à un l'étude des corps à l'état sphéroïdal.

En faisan : passer l'essence de térébenthine à l'état sphéroïdal, à la température la plus basse possible, elle se volatilise lente-

ment sans donner de vapeurs apparentes, et se colore lentement aussi depuis le jaune le plus clair jusqu'au jaune brun. Alors les vapeurs deviennent apparentes, elles contiennent du noir de fumée en suspension ; la couleur de l'essence se fonce de plus en plus; elle est brune, noirâtre; des signes d'ébullition se manifestent dans le sphéroïde, il s'étale sur la capsule et y forme un vernis noir très riche en carbone, mais contenant encore de l'essence : *c'est une véritable houille artificielle.*

M. Bouchardat, qui a fait une étude approfondie, d'après la méthode de M. Biot, du pouvoir moléculaire rotatoire des térébenthines et de leurs essences, a trouvé de très grandes différences dans la déviation des rayons de la lumière polarisée; ce savant les attribue toutes à un état moléculaire particulier, et il considère toutes les essences de térébenthine comme étant isomères. « On peut admettre, dit-il, un nombre infini d'états » isomériques d'une substance de composition définie (1). »

La manière de voir de M. Bouchardat est vraie en principe, mais je ne saurais partager son opinion dans ce cas particulier, et je crois pouvoir affirmer, par exemple, que l'essence de térébenthine distillée sur de la brique est plus hydrogénée ou moins riche en carbone, comme on voudra, que la même essence avant d'être distillée, et qu'on retrouverait le carbone dans la brique, comme on le retrouve sur la capsule dans l'expérience que je viens de décrire.

Dès lors, la différence du pouvoir rotatoire moléculaire des deux essences n'a plus rien de surprenant, puisque ce sont deux huiles formées des mêmes éléments, mais dans d'autres proportions. (*Voyez la 73ᵉ expérience.*)

J'ajouterai, à l'appui de ce que je viens d'avancer ici, que j'ai obtenu un produit parfaitement identique avec celui que M. Bouchardat a obtenu, en recueillant dans un appareil convenable les vapeurs d'essence de térébenthine à l'état sphéroïdal.

Le naphte et le pétrole se comportent comme l'essence de térébenthine.

(1) *Journal des connaissances médicales*, juillet 1845.

La partie qui se volatilise d'abord est la plus riche en hydrogène, d'où l'augmentation de la proportion du carbone dans le sphéroïde et l'élévation de la température de son point d'ébullition, en sorte qu'il arrive un moment où la température de la capsule n'est plus assez élevée pour maintenir à l'état sphéroïdal l'essence déshydrogénée; elle s'étale sur la capsule, comme on l'a vu plus haut. (*Voyez la* 6ᵉ *expérience.*) On pourrait prévenir pour un instant la liquéfaction du sphéroïde en élevant la température de la capsule; mais alors les vapeurs, enveloppant le sphéroïde, s'enflammeraient, et l'on retomberait dans les phénomènes de combustion ordinaire.

96ᵉ *Expérience.* — On a vu dans les expériences 31ᵉ et 32ᵉ l'acide azotique être sans action sur l'argent et sur le cuivre, sans doute parce que la force répulsive que le calorique fait naître dans la matière le repousse au delà du rayon de l'action chimique. Mais il n'en est point ainsi de la vapeur provenant du sphéroïde d'acide azotique et, encore bien que cette vapeur *ne mouille pas* le métal incandescent, elle se décompose et donne naissance à divers produits qui comprennent probablement toute la série d'oxydation de l'azote.

Ces expériences doivent être faites dans un creuset de platine et non dans une capsule.

J'ai conçu l'espoir, peut-être chimérique, d'obtenir au moyen de cette action particulière de la chaleur l'acide hypothétique représenté par la formule Az^2O^7. Si mes prévisions sont confirmées par des expériences ultérieures, je ne manquerai pas d'en informer le monde savant. (*Voyez la* 26ᵉ *expérience*).

97ᵉ *Expérience.* — La naphtaline se comporte comme les carbures d'hydrogène liquides. Il se volatilise d'abord un carbure très riche en hydrogène, puis la proportion de ce dernier corps va toujours diminuant et celle du carbone toujours augmentant. Les vapeurs deviennent fuligineuses, le sphéroïde se colore de plus en plus, et finalement il reste sur la capsule un point charbonneux qui brûle avec dégagement de lumière.

98ᵉ *Expérience.* — L'acide benzoïque à l'état sphéroïdal donne des vapeurs visibles dès le principe, et semble se vaporiser sans

subir d'altération. Cependant il n'en est point ainsi ; car si on le coule sur un plan de verre froid, il forme des plaques jaunâtres translucides.

99e *Expérience.* — Si l'on projette de l'acide citrique en poudre dans une capsule rouge de feu, il se dégage des vapeurs blanches plus ou moins opaques, suivant l'état d'hydratation de l'acide. Si, lorsque ces vapeurs se montrent, on coule l'acide fondu dans un verre à expérience ou dans une capsule, on obtient une masse d'un jaune serin, contenant au moins un des dérivés de l'acide citrique.

100e *Expérience.* — L'huile d'amandes amères à l'état sphéroïdal se décompose et donne naissance à des vapeurs blanches acides. Ce n'est probablement que de l'acide benzoïque.

A une température plus élevée, l'huile s'enflamme et laisse déposer considérablement de charbon sur les parois du creuset ; ce charbon est difficilement combustible.

Je termine ici ces expériences préliminaires. On comprend qu'elles pourraient être considérablement multipliées, mais celles qui précèdent sont assez nombreuses, ce me semble, pour montrer tout le parti que les chimistes pourront tirer de ce nouveau mode d'expérimentation ; il ne saurait manquer de leur offrir des résultats aussi curieux qu'inattendus.

Applications.

M. Chambert a imaginé d'employer *l'eau à l'état sphéroïdal* comme agent comburant pour brûler les matières organiques contenues dans les sels provenant de l'évaporation de l'urine. « Ce » mode de combustion, dit-il, est très prompt, et pour peu qu'on » ait l'habitude de le manier, on peut, en le joignant à l'évapora- » tion faite comme je l'ai indiqué, avoir en une heure et demie » les sels d'un liquide organique parfaitement dépouillés de leurs » impuretés charbonneuses (1). »

J'ai fait précédemment deux autres applications des propriétés

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 2 juin 1845.

de la matière à l'état sphéroïdal, l'une, à l'analyse d'une tache microscopique de sang (1) ; l'autre à l'analyse d'une tache produite par l'appareil de *Marsh* (2).

L'analyse d'*une* seule tache est à peu près impossible par les anciens procédés analytiques, mais elle très facile au moyen de l'artifice que voici :

On l'acidifie au moyen de l'acide nitrique très étendu, ensuite on la transforme en sulfure jaune, au moyen d'un courant d'acide sulfhydrique provenant de la décomposition de l'eau sur le sulfure de fer par l'influence de l'acide sulfurique ; puis on dissout la tache dans un gramme d'ammoniaque, que l'on projette dans une capsule de platine, presque plane et rouge de feu. Cette solution passe immédiatement à l'état sphéroïdal et se concentre très lentement ; lorsqu'elle a acquis le volume d'un petit pois, on la touche avec un tube mouillé dans l'acide chlorhydrique qui la colore tout à coup en jaune *si la tache était arsenicale*. Une goutte d'ammoniaque la rend de nouveau incolore, et l'acide chlorhydrique rétablit la couleur jaune. Ces alternatives de coloration et de décoloration peuvent se reproduire presque indéfiniment, et c'est là un caractère qui appartient exclusivement au sulfure d'arsenic.

On termine l'opération en ajoutant au sphéroïde 0gr,05 de carbonate de soude, on soustrait la capsule à l'action de la chaleur et on la pose sur un plan de métal ; elle se refroidit rapidement, le sphéroïde *mouille* la capsule et se dessèche très vite. On recueille avec soin la petite masse saline qui en résulte, et on la projette sur un gros charbon en pleine combustion. On incline la tête au-dessus du charbon à 20 ou 30 centimètres, et on perçoit l'odeur alliacée de l'arsenic. Alors, le doute n'est plus permis, la tache était arsenicale.

Cette dernière expérience doit être faite dans une pièce fermée, pour éviter les courants d'air qui feraient dévier la vapeur arsenicale.

Lorsqu'on opère sur de petites quantités, l'examen des corps

(1) *Annales d'hygiène et de médecine légale*, avril 1844.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 10 novembre 1845.

à l'état sphéroïdal présente des avantages réels, surtout lorsqu'il s'agit de juger de la couleur. En effet, à l'état sphéroïdal, la matière est soustraite à l'action de la pesanteur, elle est comme isolée dans l'atmosphère, et rien ne saurait altérer ses nuances, si variables quand on les observe au travers des parois d'un tube.

Ce procédé analytique a été reconnu exact par les toxicologistes, notamment par Orfila, qui m'a fait l'honneur de m'inviter à le répéter à son cours de l'Ecole de médecine. Le professeur Galtier recommande également ce procédé.

On peut démontrer, par une dissolution dans l'eau, si une *tache rouge* d'un millimètre de diamètre est formée par du sang. Ce procédé, fort simple, a été également adopté par les toxicologistes les plus éminents : Orfila, Devergie, Galtier, Gaultier de Claubry, etc., etc. (Voyez la description de ce procédé dans les *Annales d'hygiène et de médecine légale*, avril 1844).

On a vu dans la première partie de cet ouvrage : *Nouveau système de chaudières à vapeur*, que j'avais proposé, dès l'année 1842, l'emploi de la vapeur surchauffée (eau à l'état sphéroïdal) comme force motrice. Un peu plus tard, je proposai l'emploi simultané des vapeurs saturée et surchauffée (voyez la note à la page 104.)

Voici maintenant quelques extraits de la première édition de cet ouvrage, publiée en 1842, qui montrent que les expériences et les idées répandues dans ce tout petit livre ne devaient pas être rejetées sans examen.

Chauffage à la vapeur.

« Il résulte de toutes les expériences précédentes, mais parti-
» culièrement de la cinquante-deuxième et de celles qui la suivent,
» que l'équilibre de chaleur et l'équilibre de tension sont impos-
» sibles avec les corps à l'état sphéroïdal. Ceci admis, on conçoit
» facilement tout le parti que l'on pourra tirer de ces propriétés,
» pour le chauffage à la vapeur. »

Art culinaire (1).

« Brillat-Savarin, de spirituelle et gastronomique mémoire, au-
» rait souri délicieusement à l'idée de faire rôtir un perdreau
» truffé dans de la vapeur d'eau, et cela, dans un appareil aussi
» simple qu'une marmite.

» Aujourd'hui, on fait *rôtir du bois* dans de la vapeur d'eau sur-
» chauffée, c'est-à-dire on l'y carbonise. »

Chimie.

« Il serait difficile d'assigner des limites à la marche des expé-
» rimentateurs dans la voie nouvelle qui vient de leur être ouverte.
» Je ne répéterai pas ici ce que j'ai dit sur la caléfaction comme
» instrument ou comme moyen chimique. Je renvoie à ce qui a été
» écrit sur la quatorzième proposition; mais je ferai remarquer la
» possibilité d'autres applications.

» Jusqu'ici l'on n'est parvenu à soumettre les corps à l'action
» de la vapeur d'eau, à une haute température, que dans des
» appareils, assez simples il est vrai, mais fermés hermétiquement,
» mais d'un prix assez élevé. Ces appareils étaient hors de la por-
» tée du plus grand nombre des observateurs, leur emploi n'était
» pas toujours sans danger, et puis on ne pouvait pas voir ce qui se
» passait dans l'intérieur de ces appareils, et c'était un obstacle,
» on ne saurait en douter, à un certain nombre de découvertes.

» Maintenant cet obstacle n'existe plus.

» En effet, au moyen d'un cylindre comme celui dont il s'est
» agi il y a un instant, on peut soumettre tous les corps à l'action
» de la vapeur d'eau à toutes les températures possibles, et suivre
» de l'œil toutes les métamorphoses qu'ils pourraient subir, et les
» soustraire à l'action combinée de l'eau et de la chaleur, aussitôt
» que la nécessité s'en ferait sentir.

(1) La *chimie culinaire* occupe une place fort étendue dans le *Traité de chimie* de Fourcroy, qui fut grand maître de l'Université.

» Qui peut dire les résultats de ce mode d'expérimentation ? » Qui pourrait prévoir comment se comporteraient certaines résines » et les corps gras : la gomme, la fécule et le sucre, et toutes les » substances organiques en général ? et dans un autre ordre, » l'ordre inorganique, comment se comporteraient les substances » réputées insolubles ou presque insolubles, comme les carbonates » de chaux et de baryte, les sulfates des mêmes bases, l'acide si- » licique, et tant d'autres combinaisons qui se trouvent si abon- » damment dans la nature ?

» En opérant sur une grande échelle, l'observateur serait placé » en présence des éléments à une des températures par lesquelles » ils ont passé à l'époque où l'écorce du globe, peu épaisse, était » encore incandescente et maintenait à l'état de vapeur des corps » qui sont aujourd'hui solides ou liquides ; tels étaient sans doute » le soufre, l'eau, le mercure et beaucoup d'autres.

» On trouve encore dans la caléfaction un nouveau mode de » distillation, de concentration, etc., et quelquefois d'analyse (1). »

Maintenant on dédouble et on distille les corps gras destinés à la fabrication des bougies, au moyen de la vapeur surchauffée ; on cuit le plâtre par le même moyen, etc., etc.

(1) Voyez page 86 et suivantes, 1re édition.

TROISIÈME PARTIE.

THÉORIE.

« Je suis un homme de laboratoire ; mais écrivain, pas le moins du monde. »
Première édition.

Je crois avoir parcouru la voie expérimentale assez loin et assez longtemps, pour qu'il me soit permis d'entrer dans une autre voie, en tâchant de ne point m'égarer. Les points de repère nombreux, les jalons assez multipliés et le terrain suffisamment aplani inviteront des hommes spéciaux à entrer dans le champ de la théorie ; quant à moi, bien que je l'aie éclairé, je sais, en l'abordant, que j'y rencontrerai des difficultés nombreuses et peut-être insurmontables. Puissent-elles me faire obtenir l'indulgence des lecteurs !

Un des premiers points que j'aurai à examiner, c'est celui de savoir si les sphéroïdes sont supportés par un coussin de vapeur, ou s'ils sont maintenus à distance par une force répulsive inconnue dans son essence, mais dont la cause apparente réside dans la chaleur ; et encore, si ces phénomènes peuvent être expliqués par les lois de la chaleur actuellement admises, et si les théories de ce dynamide sont exactes et suffisantes.

§ I. — Les sphéroïdes sont-ils supportés par un coussin de vapeur, ou bien sont-ils maintenus au delà du rayon de l'action chimique par une force répulsive dont la chaleur est la cause déterminante?

Les physiciens sont très partagés à cet égard. Les uns pensent que les sphéroïdes en question sont supportés par un coussin de vapeur ; d'autres admettent qu'ils sont tenus à distance par une

force répulsive que la chaleur développe dans les corps solides ou liquides. Quant à moi, j'ai toujours été et je suis encore de l'avis de ces derniers.

Disons maintenant sur quelles bases repose notre opinion, bien arrêtée, du reste, sur ce point de la question.

La densité de l'air étant prise pour unité, celle de la vapeur d'eau à + 100° = 0,6235, ou un peu plus de la moitié de celle de l'air.

Nous pourrions conclure de cette seule comparaison que l'eau à l'état sphéroïdal n'est pas supportée par sa vapeur, et qu'elle est maintenue à distance de la surface chaude par une force répulsive, dont la nature intime est et sera peut-être toujours inconnue.

S'il en était autrement, toutes les fois qu'on laisserait tomber quelques gouttes d'eau dans une capsule, ces gouttes passeraient à l'état sphéroïdal, soutenues par un coussin d'air dont la densité ou la résistance est presque double de celles de la vapeur d'eau, et il n'en est point ainsi. L'eau mouille toujours un vase froid et ne le mouille pas quand il est chauffé à une température suffisante ; donc l'air ne saurait supporter une goutte d'eau, dont le poids spécifique est en chiffres, ronds, 770 fois plus considérable ; donc la vapeur d'eau ne saurait supporter une goutte d'eau, dont le poids spécifique est 1234 fois plus grand. Ces chiffres doivent porter la conviction dans tous les esprits ; ils sont basés sur les données que voici :

Densité de l'air...............	=	1,0000
— de la vapeur à + 100° ..	=	0,6235
Poids d'un litre d'air à 0°.......	=	1,2991
— de vapeur à 0° ..	=	0,8100
— d'eau à 0°......	=	1000,0000

Mais ce n'est pas tout. Lorsqu'on projette une certaine quantité d'eau dans une capsule chauffée à blanc, la vapeur très rare qu'elle fournit, portée à la température de 1500°, éprouve une dilatation considérable qui diminue sa densité au point de l'annihiler pour ainsi dire. La raison ne saurait donc admettre qu'une telle vapeur supporte les sphéroïdes.

En se rappelant la 62e expérience, on comprendrait difficilement que la vapeur passât librement par les trous de la capsule ou de la toile de métal ou des spires sans que l'eau, l'alcool, l'éther, l'iode suivissent la même route, s'il n'existait pas une force répulsive à la surface du métal d'une part, et de l'autre, une force attractive entre les molécules de l'eau.

Dans l'expérience 57e, nous voyons tomber de l'eau de 70m de hauteur ou des nuages de l'atmosphère, et nous la voyons passer à l'état sphéroïdal absolument comme si elle tombait d'une hauteur de quelques millimètres. La grêle se comporte comme la pluie. Il me semble que l'eau ou la grêle, arrivant sur la surface de la capsule avec une vitesse considérable, devrait vaincre cette légère couche de vapeur qui l'entoure, et cependant elle ne la vainc pas, car la capsule n'est pas mouillée, et l'eau et la grêle passent à l'état sphéroïdal.

Quand on projette un morceau de glace dans une capsule incandescente, il se promène sur sa surface en se liquéfiant, mais sans mouiller la capsule. Dira-t-on que le morceau de glace est supporté tout d'abord par l'atmosphère de vapeur qui l'entoure? mais la vapeur d'eau à 0° est extrêmement rare, et, en vérité, il faudrait lui supposer un ressort considérable pour admettre qu'elle supportât le morceau de glace.

Pour se faire une juste idée du peu de tension de la vapeur d'eau à l'état sphéroïdal, il faut se rappeler que, sous cet état moléculaire, l'eau s'évapore 50 fois moins vite dans une capsule à + 200° que par ébullition; en d'autres termes, l'eau à l'état sphéroïdal donne 50 fois moins de vapeur que de l'eau bouillante. Mais si nous plaçons cette eau à l'état sphéroïdal dans le vide de la machine pneumatique, après avoir pris toutes les précautions convenables pour absorber la vapeur, on peut dire véritablement qu'elle disparaît en entier; et cependant l'eau se maintient à l'état sphéroïdal. (*Voy. la* 18e *expérience.*) L'expérience avec l'iode n'est pas moins concluante.

Je pourrais terminer ici cette discussion, car les preuves contre l'opinion qui admet que les sphéroïdes sont supportés par un coussin de vapeur, et non en vertu de la force répulsive des sur-

faces incandescentes, me paraissent décisives; mais il ne suffit pas que je sois convaincu, comme je le suis, de l'existence de cette force répulsive; il faut que ma conviction passe dans l'esprit de mes lecteurs; il faut que l'existence de cette force soit pour tout le monde une vérité pure et transparente comme une goutte d'eau à l'état sphéroïdal.

Je vais donc continuer l'accumulation des preuves.

Un ovoïde en argent ou en platine de la grosseur d'un œuf de pigeon, chauffé à blanc, plongé dans de l'eau, n'y fait entendre aucun sifflement, et il est facile de reconnaître à la simple vue qu'il n'y a pas de contact entre l'eau et le corps incandescent, et que l'eau en est repoussée à une certaine distance. Peut-on dire, dans ce cas, que c'est la vapeur qui repousse l'eau? Assurément non. La masse de métal ne donne pas de vapeur, ceci ne saurait être contesté, et cependant l'eau s'écarte avec une vitesse que je considère comme infinie. On peut le plonger et le retirer plusieurs fois de suite, et le phénomène se reproduit toujours de la même manière. Toutefois, il arrive un instant où le contact a lieu, un léger sifflement se fait entendre et une secousse assez forte est transmise à la main : alors il semble que la chaleur intérieure du métal revient tout à coup à la périphérie, et l'eau s'écarte de nouveau. Ces secousses se reproduisent deux ou trois fois, puis le métal est définitivement mouillé, et l'eau bout avec violence. (*Voy. la* 38ᵉ *expérience.*)

Ces expériences doivent toujours se faire dans un verre conique; le choc est si rapide et si fort qu'un verre cylindrique est presque toujours brisé. Je donne ce conseil après y avoir été pris plusieurs fois. La dernière fois, c'était à Londres, dans le laboratoire du docteur Miller, à King's-College. Nous répétions quelques expériences dont celle-ci faisait partie. Je plongeai le métal dans un grand verre cylindrique, le phénomène se produisit comme je l'ai dit, mais une dernière secousse fit voler le verre en éclats.

Cette expérience fort simple fournira, je l'espère, des données précieuses pour mesurer la force répulsive des corps incandescents. Il suffira de chauffer l'ovoïde métallique à une température donnée et de le plonger dans une colonne d'eau de plus en plus longue. On

notera la hauteur de la colonne d'eau au-dessus de la masse de métal, au moment où il sera mouillé, et un simple calcul donnera la mesure de la force répulsive.

Encore un mot sur cette expérience.

La vapeur formée par l'influence du métal ne devrait-elle pas être absorbée aussitôt que formée, et le bruit particulier qui caractérise l'ébullition ne devrait-il pas se faire entendre au lieu du silence et de l'immobilité des molécules de l'eau que l'on observe (1)? Encore une fois, l'eau est repoussée par la surface incandescente avec une vitesse qui ne peut être comparée, pour ainsi dire, qu'à celle avec laquelle se transmet l'attraction ou la répulsion ; or, dans aucun cas la vapeur d'eau ne se forme, en quantité notable, avec une telle vitesse; donc c'est une certaine force, mise en jeu par l'influence de la chaleur, qui repousse l'eau de la surface du solide.

101e *Expérience.* — Cinq grammes d'eau distillée, à l'état sphéroïdal dans une capsule d'argent presque plane et chauffée à + 300° environ, s'évaporent en 11 minutes. En convertissant ces minutes en secondes pour chercher combien il se forme de vapeur pendant chaque seconde, on trouve 7 1/2 *milligrammes*; mais comme la vapeur se forme à tous les points de la surface, il ne faut compter que celle qui se dégage à la partie inférieure de l'ellipsoïde (celle qui se dégage en dessus ne pouvant pas contribuer à la suspension du liquide, *au contraire*), soit 0gr,00375. Ainsi, ce serait cette quantité de *vapeur libre*, 3 milligrammes et 75 centièmes de milligramme, qui aurait assez d'élasticité pour supporter cinq grammes d'eau! Cela ne saurait être admis et personne assurément ne l'admettra (2).

Dans la 70e expérience nous voyons qu'il est impossible de

(1) Cette immobilité n'est qu'apparente, et est caractérisée par l'*absence de bulles*; mais des courants ascendants d'eau chaude et descendants d'eau froide ont lieu dans la masse du liquide, et donnent à sa surface une forme convexe. Il faut se rappeler ici que l'eau, à l'état sphéroïdal, acquiert presque instantanément une température voisine de celle de son ébullition.

(2) Ce calcul n'est qu'une approximation grossière. Il est facile de comprendre qu'il se forme plus de vapeur au commencement qu'à la fin de l'expérience.

remplir une capsule très mince d'eau à l'état sphéroïdal. C'est tout simple, disent les partisans de la vapeur comme cause de suspension des sphéroïdes, l'eau ne pouvant s'échauffer qu'aux dépens de la capsule, celle-ci se refroidit subitement et le contact s'établit.... Mais, en opérant avec de l'eau bouillante, cette objection perd toute sa valeur s'il est impossible de remplir la capsule, et il est impossible de la remplir. Il est donc évident que la masse de la capsule ou la somme des points matériels joue un rôle important dans la production de ce phénomène.

102ᵉ *Expérience.* — Une capsule hémisphérique, d'argent, de $0^m,05$ de diamètre, du poids de 46^g, rouge de feu et contenant 20^{gr} d'eau à l'état sphéroïdal, est placée dans un petit panier de fil de fer; on l'attache à un fil du même métal de $0^m,80$ de longueur, et on fait tourner avec force tout le système autour du poignet (mouvement de fronde).

On obtient facilement de 3 à 5 révolutions par seconde, soit 4 révolutions.

Le contact entre l'eau et la capsule, qui devrait avoir lieu immédiatement, en vertu de la force centrifuge, ne s'établit pas; ce n'est que plus tard que ce phénomène se produit et lorsque la capsule est assez refroidie.

On est averti du contact par un bruit crépitant particulier et par l'apparition d'un cercle de vapeur qui indique l'espace parcouru par la capsule. Cette expérience a déjà eu pour témoins plusieurs savants, au nombre desquels se trouvaient MM. Wheatstone, Dumas, Payen, Balard, Barruel, etc. En remplaçant l'argent et l'eau par du platine et de l'iode, l'expérience est très brillante.

Dans cette expérience, la force centrifuge est énorme, et cependant le contact ne s'établit pas; et s'il ne s'établit pas, c'est que la cause de la suspension existe ailleurs que dans la très petite quantité de vapeur provenant de l'eau dont la force élastique devrait être immédiatement vaincue par la force centrifuge.

Il est facile de se représenter la pression exercée par l'eau sur la paroi de la capsule, au moyen des éléments que j'ai donnés plus haut.

Cette expérience, qui est aussi simple que facile à répéter, me

paraît tout à fait propre à corroborer l'opinion des physiciens que j'ai cités plus haut sur la cause de la suspension des sphéroïdes et à laquelle la vapeur serait entièrement étrangère (1).

J'ai dit que dans cette expérience la force centrifuge était énorme. Voici quelle est la pression exercée par l'eau sur la paroi de la capsule, en admettant que la force centrifuge soit exprimée par la formule

$$F = \frac{Pv^2}{gr} = \frac{mv^2}{r} = 1030 = 1k,030 \ (2).$$

Ainsi, en rapprochant ce résultat numérique de la 101[e] expérience, on verrait *un centigramme et demi de vapeur* faire équilibre à un effort d'*un kilogramme trente grammes!* C'est-à-dire qu'un coussin de vapeur libre supporterait un masse d'eau dont la pression serait égale à *soixante-huit mille six cent soixante-six fois le poids de cette vapeur* (3). Ce serait, il faut en convenir, une action statique ou dynamique fort extraordinaire, et dans laquelle l'effet ne serait nullement proportionné à la cause.

Mais considérons cette expérience seulement pendant un instant de la durée. Il est évident que la force centrifuge ne variera pas, qu'elle sera constante; mais que la quantité de vapeur formée dimiuuera dans un rapport si grand qu'elle deviendra égale à 0 pour ainsi dire. En effet, la quantité de vapeur qui agit pendant une seconde de temps $= 0_g{,}015$; celle qui agit pendant une révolution de la capsule $= \frac{0^g{,}015}{4} = 0{,}004$ en chiffres ronds, et pendant 1 dixième de seconde seulement 0,0004.... Donc la force qui fait équilibre à la force centrifuge ne réside pas dans la vapeur

(1) Voy. la 62[e] expérience et le rapport de M. Babinet qui s'y trouve annexé.

(2) Je rappelle que P = 20 grammes, $g = 9^m{,}81$, $r = 0^m{,}80$ et que la capsule faisait en moyenne 4 révolutions par seconde de temps, d'où $v^2 = (2\pi r \times 4)^2$.

(3) Dans l'expérience 101[e], on voit 5 grammes d'eau donner en moyenne 0gr,0075 de vapeur; or, dans la 102[e] expérience, nous avons 20 grammes d'eau, c'est donc en moyenne 0,0075 × 4 = 0,030 de vapeur par seconde; comme la vapeur qui se forme à la surface de l'hémisphère supérieur ne doit pas être comptée, ce n'est plus que 0,015, et $\frac{1030^{gr}{,}000}{0{,}015} = 68666$.

mais bien dans le métal où une force répulsive inconnue dans sa nature intime est mise en jeu par l'action de la chaleur.

« Je ne comprends pas, je l'avoue, qu'on puisse s'arrêter sé-
» rieusement à une pareille explication (l'action statique ou dy-
» namique de la vapeur).

» Comment penser que la vapeur d'eau, dont la densité est si
» faible, puisse supporter une masse liquide et la soustraire à la
« pesanteur ? Dira-t-on que la suspension est produite par la force
» ascensionnelle de la vapeur ? Mais le jet qui s'échappe avec
» tant de vitesse d'une chaudière où la vapeur était coercée,
» serait insuffisant pour maintenir une pareille masse à une dis-
» tance constante. Il y aurait d'ailleurs plus de raison pour attri-
» buer à l'air échauffé une propriété de ce genre, car sa densité
» est plus considérable et il en résulterait que des corps solides
» peu denses et pris ous un petit volume, pourraient être main-
» tenus à distance d'une surface fortement échauffée, et présenter,
» comme le liquide, des mouvements de rotation par la succession
» continue des courants ascendants.

» Telles seraient les conséquences de cette hypothèse; *leur*
» *fausseté est tellement évidente* que je ne la discuterai pas plus
» longtemps (1). »

Disons donc avec Liebig que « la chaleur s'opposant à toutes
» les forces d'attraction, on peut la regarder comme le principe
» matériel de la répulsion (2). »

Voici d'autres arguments : je les puise dans les phénomènes que présente le chlorure mercurique, le camphre et le vide de la machine pneumatique.

Le camphre et le sublimé corrosif, soumis à l'action d'une température suffisante, se volatilisent sans subir de décomposition. En soumettant le camphre à une légère pression, on peut le liquéfier, et, quand il est pur, il possède en cet état la transparence de l'eau.

Il faudrait sans doute une pression assez considérable pour liquéfier le sublimé corrosif, et jusqu'ici je ne sache pas que cette

(1) A. Boulan, professeur de physique, *Précis analytique des travaux de l'Académie de Rouen*, 1848, p. 33.

(2) Liebig, Introduction à l'*Étude de la chimie*, p. 24.

opération ait été tentée, ni que personne ait vu du sublimé corrosif à l'état liquide et doué de la transparence de l'eau.

Mais ce résultat peut être facilement obtenu en faisant passer cette combinaison à l'état sphéroïdal dans une capsule de porcelaine, chauffée à une haute température. Le sublimé corrosif à l'état sphéroïdal est incolore, et sous cet état il s'évapore très lentement. (*Voy. la* 26[e] *expérience.*)

Le camphre passe facilement aussi à l'état sphéroïdal, mais à une température beaucoup moins élevée que le sublimé corrosif.

N'est-il pas évident que le camphre et le sublimé corrosif, comme tous les corps à l'état sphéroïdal, du reste, obéissent à une force attractive qui s'exerce entre leurs molécules, et qu'ils se comportent comme s'ils étaient réduits à un point matériel et comme s'ils avaient cessé d'obéir à la pesanteur ? Cela est évident, en effet, comme il est évident aussi que la surface chaude neutralise la pesanteur, en maintenant à une certaine distance les corps à l'état sphéroïdal, qui deviennent alors de véritables satellites de la terre, ainsi qu'on le verra dans un prochain paragraphe. Il n'est pas moins évident, dans le fait sphéroïdal, que toutes les molécules gravitent vers la molécule centrale qui les attire comme elle en est attirée, et cela, en vertu du principe universel de *Newton.*

Mais cette force attractive moléculaire, que l'on observe dans les corps à l'état sphéroïdal et dans tous les corps qui ont perdu la propriété de mouiller, est bien autrement manifeste dans le vide de la machine pneumatique.

Et qui ne serait pas pénétré d'admiration pour ce phénomène que présente l'acide sulfureux dans le vide ! Cet acide, en effet, qui résulte de la liquéfaction d'un gaz permanent et qui bout à onze degrés au-dessous de zéro, ne bout pas et ne se volatilise qu'avec une extrême lenteur dans le vide et dans une capsule rouge de feu. Il y a là, à mon avis, un des plus beaux, un des plus merveilleux phénomènes de la physique moderne (1). (*Voy. la* 18[e] *expérience.*)

(1) Je n'oublie pas que je ne suis ici que le secrétaire et l'interprète du hasard. (Voyez Avant-propos : *Origine de ces recherches.*)

« Tout se fait par rencontre et à l'aventure. » (*Ecclésiaste*, chap. IX, § II, v. 11.)

Ce phénomène est encore plus surprenant et plus invraisemblable avec le protoxyde d'azote, et pourtant il est vrai.

Le temps viendra, je l'espère, où ces admirables phénomènes seront l'objet des études et des méditations des géomètres ; alors, on n'en saurait douter, la philosophie des sciences fera un pas de géant.

La manière dont se comporte l'acide sulfureux dans le vide est si nettement caractérisée que je n'hésite pas à dire que les autres gaz, liquéfiés par l'illustre *Faraday*, se comporteront de même.

C'est ainsi que je m'exprimais dans les éditions précédentes de cet ouvrage. Aujourd'hui il ne reste plus de doute à cet égard et cela donne à nos recherches sur ce point un degré de certitude incontestable. C'est une nouvelle *loi physique* (1).

Je rapporterai sommairement ici ce que j'ai vu du protoxyde d'azote liquéfié à la Sorbonne ; mais c'est un sujet qui n'est pas encore suffisamment étudié et sur lequel il faudra nécessairement revenir.

Le protoxyde d'azote passe à l'état sphéroïdal à toutes les températures au-dessus de 0° ; comme l'acide sulfureux, il solidifie l'eau hygroscopique de l'air qui trouble sa transparence ; sa vaporisation est très lente et finalement il reste sur la capsule une petite masse de neige.

Dans le vide, il se comporte comme à l'air libre dans les premiers temps de l'expérience ; plus tard il semble qu'un point de contact a lieu avec la capsule, le protoxyde fait explosion et se solidifie tout à coup. Cette expérience répétée trois fois de suite s'est toujours terminée de la même manière. L'élasticité dans le récipient de la machine était réduite à $0^{m},002$. (Voyez une note de M. Despretz, publiée dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, janvier 1849.)

Je borne à ce peu de mots ce que j'ai à dire du protoxyde d'azote à l'état sphéroïdal et je termine par cette assertion para-

(1) Une *loi physique* est la relation constante entre un phénomène et sa cause.

doxale : Personne jusqu'ici n'a vu le protoxyde d'azote à l'état liquide dans un vase ouvert, et j'ajoute qu'il sera très difficile de l'y voir dans notre climat.

C'est aux Russes vraisemblablement qu'est réservé tout l'honneur d'une étude complète du protoxyde d'azote (AzO).

Le protoxyde d'azote qui a servi à ces expériences avait été liquéfié au moyen de l'appareil de Natterer modifié par MM. Dumas et Bianchi, et exécuté par ce dernier.

Disons ici qu'il sera facile de déduire la température de l'ébullition des gaz permanents liquéfiés de leur température à l'état sphéroïdal.

Un mot sur le mercure.

On sait que le mercure *ne mouille pas* un plan de verre ou de marbre, qu'il y a entre ce plan et un globule de ce métal un intervalle appréciable, une couche d'air d'une certaine épaisseur. Les physiciens qui n'admettent pas la répulsion (quelle qu'en soit la nature) n'hésitent pas à dire que le mercure ne touche pas le plan, parce qu'il est supporté par la couche d'air en question. C'est là, ce me semble, une erreur. En effet, si l'on projette du mercure sur un plan en étain, le mercure le mouille aussitôt, s'y étale et s'y combine de telle sorte qu'il disparaît, pour ainsi dire. Qu'est devenue la couche d'air dans ce cas-là ? Comment ne supporte-t-elle pas le mercure comme avec le verre, le marbre, etc. ?

Si le mercure était tenu à distance sur un plan de verre par une couche d'air, il devrait s'étaler sur ce plan et le *mouiller* dans le vide ; mais c'est précisément le contraire qui a lieu, c'est-à-dire que le mercure se comporte sur un plan de verre dans le vide comme à l'air libre : donc ce n'est pas l'air qui empêche le contact d'avoir lieu.

Le mercure est tenu à distance, il est vrai, par une cause qui nous est tout à fait inconnue et à laquelle la chaleur est peut-être étrangère. (Voy. la 59e *Expérience* et le § v de cette partie.)

Mais voici un dernier argument qui exclut jusqu'à l'ombre du doute sur la cause de ce phénomène. Les corps gras, comme on sait, ne sont pas susceptibles d'ébullition ; ils se décomposent sous l'influence de la chaleur et donnent naissance à des gaz dont

la composition varie avec la température, mais ils ne donnent pas de vapeur proprement dite; ils ne sauraient être distillés sans être décomposés, au moins partiellement. Cependant, si l'on projette un corps gras quelconque dans une capsule incandescente, il passe immédiatement à l'état sphéroïdal, et ce n'est que quelques secondes après qu'il se décompose et brûle avec flamme. On ne peut donc pas dire qu'il est supporté par sa vapeur, ni par les gaz qu'il donne, puisque 1° il ne donne pas de vapeur proprement dite, et 2° que les gaz ne se dégagent pas immédiatement. D'ailleurs, les gaz provenant de la décomposition des corps gras ne se dégagent pas de leur surface, mais bien de l'intérieur de leur masse. C'est une force divellente qui tend à projeter de toutes parts les molécules du corps gras, mais non à le maintenir suspendu au-dessus de la surface incandescente.

Une seule goutte d'huile suffit donc pour établir positivement que les corps, à l'état sphéroïdal, sont suspendus par une force répulsive, inconnue dans son essence, que la chaleur fait naître dans les corps. (*Voyez la 28e expérience*, qui traite de l'action répulsive des solides sur les solides et des liquides sur les liquides.)

Voici un fait qui me semble propre à corroborer mon opinion sur l'existence d'une force répulsive dans les corps chauffés à une certaine température. On sait qu'un aimant artificiel a la propriété d'attirer le fer; mais si l'on fait rougir cet aimant, il perd cette propriété et il la recouvre en se refroidissant.

Cette observation est due aux physiciens chinois. Dans ces derniers temps, M. E. Becquerel a fait une étude approfondie de ce phénomène.

Nous croyons qu'il est maintenant inutile de pousser plus loin cette discussion et qu'il ne saurait plus y avoir de doute sur ce point de la question, à savoir : *que les corps projetés sur les surfaces incandescentes ne sont pas maintenus au delà du rayon de l'action chimique par leur propre vapeur, mais bien par une force répulsive* dont nous chercherons bientôt la nature.

Un mot maintenant sur l'équibre de température.

Cet équilibre existe-t-il dans les cas nombreux qui précèdent? Non. Si donc l'équilibre de température n'existe pas et que cet

équilibre soit le principe fondamental des théories de la chaleur, ces théories sont actuellement inexactes et insuffisantes, et à tel point qu'une série de faits tout entière ne saurait y entrer.

Il y a donc dans ces faits quelque chose de neuf, d'entièrement neuf, quelque chose de resté jusqu'à ce jour inobservé ; or, quelque chose de neuf demande un mot nouveau, et je propose de désigner la matière ainsi modifiée par les surfaces chaudes, par les mots : *état sphéroïdal*, lesquels auront à l'avenir un sens théorique qu'ils n'ont point eu jusqu'ici.

En proposant les mots *état sphéroïdal* pour désigner la modification remarquable que les corps éprouvent en présence des surfaces chaudes, je défère à un vœu tacite émis par l'Académie des sciences, qui a critiqué le mot caléfaction que j'avais d'abord proposé pour exprimer l'opération par laquelle on fait passer un corps à l'état sphéroïdal.

Voici les termes mêmes dont se sont servis MM. Arago, Pelouze et Robiquet dans leur rapport à l'Académie : « On était généra-
» lement persuadé que l'eau ne pouvait offrir le phénomène au-
» quel M. Boutigny a donné *le nom peu convenable de caléfaction*
» qu'à une température très élevée, et cependant il se produit d'une
» manière bien manifeste dans un petit creuset de plomb (1). »

Il va sans dire que j'ai pour toujours abandonné le mot caléfaction.

Le paragraphe suivant va être consacré à un examen rapide de la valeur de ces deux mots, dont nous ferons volontiers le sacrifice, si l'on en propose un ou deux autres qui rendent mieux notre pensée.

§ II. — État sphéroïdal des corps.

« Un fait neuf exige un mot nouveau. »
ARAGO, *Éloge de Fresnel.*

La nécessité d'un mot nouveau pour désigner les corps projetés sur des surfaces chaudes est indispensable, et je n'en veux d'autre preuve que la confusion qui règne à cet égard. Quelques physi-

(1) *Comptes rendus*, séance de l'Académie du 9 mars 1840.

ciens préfèrent dire la *forme globulaire*, l'*état globulaire*, la *forme sphéroïdale* (ceci est un pléonasme), la *globulisation*, etc. Dans le Nord, cette modification est connue sous le nom de *phénomène de Leidenfrost*. D'après cela, ne serait-il pas juste de l'appeler, en Suisse : *phénomène de Saussure;* en Amérique, *phénomène de Perkins;* en France, ne faudrait-il pas lui donner soit mon nom, soit le nom de celui qui l'a étudié sous le plus grand nombre de faces, et ainsi des autres contrées? Cela seul montre que les deux mots que je propose sont préférables, en ce sens qu'ils sont dans toutes les langues et qu'ils rappellent à l'esprit : le premier, un certain nombre de propriétés génériques; le second, la propriété physique qui se manifeste d'abord quand on projette un corps sur une surface assez chaude pour n'être pas *mouillée* par ce même corps.

Quant aux mots forme *globulaire*, état *globulaire*, ils doivent être rejetés absolument. Voici pourquoi. Le mot *globulaire* pouvait être convenable quand on croyait que ce phénomène ne pouvait se produire que sur des *globules*; mais aujourd'hui que l'on sait que toutes les eaux du globe pourraient passer à l'état sphéroïdal si l'on avait un vase assez grand pour les contenir et un foyer assez ardent pour le chauffer, le mot *globulaire* est tout à fait impropre.

On m'objectera qu'une masse d'eau considérable à l'état sphéroïdal n'a pas non plus l'aspect d'un sphéroïde et qu'elle prend jusqu'à un certain point la forme du vase qui la contient. Qui le nie? Personne. Mais si une grande masse d'eau à l'état sphéroïdal n'a pas la forme presque sphérique, elle a toutes les propriétés de l'eau à l'état sphéroïdal. Elle n'est pas en contact immédiat avec le vase et elle est toujours limitée par des lignes courbes.

Est-ce qu'il n'en est pas de même d'un solide quelconque, quelle que soit sa forme géométrique? Est-ce qu'un morceau de glace, par exemple, qu'il ait la forme d'une sphère, d'un cube, d'un prisme, d'un hexaèdre, etc., etc.; est-ce, dis-je, qu'il ne possède pas toutes les propriétés physiques et chimiques de l'eau à l'état solide? Il en est ainsi de l'eau à l'état sphéroïdal, quelle qu'en soit la quantité.

D'ailleurs, on se tromperait étrangement si l'on croyait que la sphéroïdalité de l'eau n'est pas persistante. Que l'on prenne un plan de métal quelconque, qu'on le fixe horizontalement et qu'on le fasse rougir; alors, si l'on y verse une goutte d'eau, elle passe à l'état sphéroïdal dans l'acception géométrique et physique de l'expression; qu'on en verse une nouvelle quantité, puis encore, encore, et encore..., et l'on aura constamment un sphéroïde, mais un sphéroïde très aplati, dont l'axe ou diamètre vertical reste invariable, tandis que son équateur ou diamètre horizontal s'accroît proportionnellement à la quantité d'eau que l'on ajoute.

Ainsi, dans cette expérience, si simple et en même temps si décisive, l'eau est un instant à l'état *globulaire*, et toujours, depuis le commencement jusqu'à la fin, à l'*état sphéroïdal* dans le sens géométrique et dans le sens que je lui ai donné.

Je suis donc autorisé à persister à me servir de ces deux mots tant qu'on n'en aura pas proposé de mieux appropriés au sujet.

Je regrette d'être en désaccord sur ce point avec des hommes que j'honore et que j'affectionne; mais il y a quelque chose que j'aime davantage, c'est la vérité, ou du moins ce que je crois être la vérité.

Chose remarquable, un physicien célèbre propose de remplacer le mot *état* par le mot *forme*, précisément par la raison contraire à celle qui m'a déterminé à adopter le premier de ces substantifs. Le mot *état*, dit-il, tendrait à faire croire qu'il existe *un quatrième état physique des corps* qui diffère des états solide, liquide et gazeux..., et c'est là, je l'ai dit, toute ma pensée : il existe un quatrième état physique des corps, état physique aussi ancien que le monde, mais resté jusqu'à ce jour sans avoir été observé.

Quelques personnes nieront qu'il en soit ainsi; elles diront que l'état sphéroïdal n'existe pas dans la nature, que c'est une modification artificielle que nous faisons naître dans nos laboratoires. Cette objection, qui paraît fondée au premier abord, ne l'est réellement en aucune façon, et nous montrerons plus loin que l'état sphéroïdal a dû précéder les trois autres états physiques dans la nature. Tout est relatif autour de nous. L'eau n'est-elle pas toujours gazeuse dans l'air pour tous les habitants de la terre,

toujours liquide pour l'habitant des régions intertropicales, et toujours solide pour celui des régions polaires? Et puis, avons-nous sondé des volcans? que savons-nous de ce qui se passe dans les profondeurs du globe, où l'on suppose les corps les plus réfractaires à l'état de fusion? Que sait-on de la cause des tremblements de terre, des éruptions volcaniques, de l'incommensurable puissance qui a soulevé les chaînes de montagnes, l'île Julia et tant d'autres?...

Ne peut-elle pas être légitimement attribuée à l'état sphéroïdal de l'eau ou de tout autre corps, soit qu'ils fassent explosion, soit qu'ils vibrent spontanément?

Il en est de l'état sphéroïdal comme des animaux et des végétaux qui ont disparu de la surface de la terre, anéantis par des milieux, par des conditions incompatibles avec leur organisation. L'état sphéroïdal ne se montre plus à nous par suite du refroidissement du globe ; mais il ne saurait être douteux que cette puissante force n'agisse activement à la surface du noyau incandescent, comme il n'est pas douteux qu'elle n'ait puissament agi à la surface du globe, alors qu'il était à l'état de fusion ignée. Le nier, serait nier la lumière du soleil. Mais heureusement qu'il n'est pas au pouvoir de l'homme de changer les propriétés de la matière qui sont immuables comme son indestructibilité. *L'état sphéroïdal à la surface du globe est donc une conséquence rigoureuse de son incandescence.*

Quel est donc l'agent le plus puissant de la nature, et quelle est la cause visible de l'état sphéroïdal? La chaleur, la chaleur, partout et toujours. N'est-ce pas sur le terrain de la chaleur que se rencontrent et se rencontreront éternellement les physiciens et leurs théories (1)? Ce serait donc à tort que l'on considérerait l'état sphéroïdal comme un accident et non comme un fait appartenant aux grandes lois de la nature. J'espère que je serai assez

(1) Depuis quelques années, l'étude de la chaleur et de ses lois a été reprise avec ardeur par un grand nombre de physiciens et de chimistes. N'est-il pas permis de croire que la découverte de l'état sphéroïdal, en appelant de nouveau l'attention des savants sur la chaleur, n'est pas étrangère à ces intéressantes et utiles études?

heureux pour prouver qu'il en est ainsi. En attendant, je répète avec la conviction la plus profonde qu'il existe un quatrième état physique des corps, qui diffère plus radicalement des trois autres états que ceux-ci ne diffèrent entre eux. Je vais essayer d'établir que son admission dans la science est logique et indispensable dans l'état actuel des choses.

Grove pense que « l'état sphéroïdal est intermédiaire entre » l'ébullition ordinaire et l'ébullition décomposante; par consé- » quent, c'est probablement un état de tension polaire, présentant » de l'analogie avec celui qui a lieu dans la cellule d'une combi- » naison voltaïque avant la décomposition.... »

« Le phénomène fait ressortir aussi une relation nouvelle entre » la chaleur, l'électricité et l'affinité chimique. »

(Voy. : *On certain Phenomena of Voltaic Ignition and the Decomposition of Water into its Constituent Gases by Heat*, traduit par Louyet et publié dans le *Bulletin du musée de l'industrie Belge*, 4e livraison, 1847.)

§ III. — Propriétés des corps à l'état solide, liquide et gazeux, comparées à celles des corps à l'état sphéroïdal.

La physique nous présente la matière sous trois états en apparence parfaitement distincts : les états solide, liquide et gazeux. Mais, pour l'homme qui examine et qui réfléchit, cette division est purement arbitraire. On reconnaît bientôt, en effet, que rien n'est absolument solide, liquide ou gazeux. Tous les corps diffèrent entre eux, soit à l'état solide, soit à l'état liquide, soit à l'état gazeux; et le même corps, sous chacun de ces trois états, peut offrir des différences très remarquables.

Si nous prenons l'eau pour type de chacun de ces états :

La glace nous représente l'état solide,

L'eau, proprement dite, l'état liquide, et

La vapeur, l'état aériforme.

L'eau existe sous ces trois états à la surface du globe, et elle s'y trouvera sans doute tant que la terre elle-même existera; mais on ne saurait affirmer qu'elle y a toujours existé. Pourrait-on

admettre, par exemple, qu'elle existât sous ces trois états lorsque le globe était encore incandescent? Non, car ce serait contraire à tout ce que nous savons des propriétés de ce fluide actuellement indispensable à l'existence des espèces végétales et des races animales qui vivent à la surface de la terre. *On admettra facilement, au contraire, qu'elle y pouvait exister à l'état sphéroïdal* et à l'état gazeux.

Mais si nous comparons l'eau qui se congèle lentement et qui cristallise à l'eau qui se congèle tout d'un coup, nous y trouverons des différences très grandes. La première a des formes régulières et définies; la seconde, une forme irrégulière et variable; celle-ci est *amorphe*, celle-là est cristallisée, ses molécules sont arrangées avec symétrie et s'arrangent toujours de la même manière, du moins on doit le croire.

Un bloc de glace transparent, un certain nombre de grêlons et une masse de neige ont entre eux des différences notables, quoique formés d'eau à l'état solide. La cohésion entre les molécules de la glace est si grande, qu'on a pu, dans les régions boréales, en construire des palais et des canons que l'on chargeait comme des canons de bronze ou de fonte. La grêle est compressible et n'offre pas la même solidité à beaucoup près. La neige est encore plus molle et plus compressible.

Ces différences sont assez tranchées pour justifier mon opinion sur le sens que l'on doit attacher en physique à l'adjectif *solide;* mais elles le sont bien autrement dans le soufre, qui offre à l'œil de l'observateur tous les états de solidité, de liquidité et de vapeur. Il est successivement solide et friable, liquide comme de l'eau, puis comme de l'huile, de la térébenthine, etc.; chauffé davantage, il se fluidifie de nouveau, bout et se volatilise.

Les molécules de soufre en vapeur recueillies sur un verre de montre et examinées immédiatement au microscope se présentent sous la forme sphérique; elles sont d'abord transparentes, ensuite elles deviennent opaques, et, si on les agite à plusieurs reprises, elles se réunissent et forment des cristaux plus ou moins volumineux (1). Ici la forme sphérique précède la forme an-

(1) *Journal des connaissances médico-pratiques*, 1844, p. 166 et suiv.

guleuse ou cristalline, et nous pensons qu'il en est toujours ainsi.

Le soufre précipité de l'acide sulfhydique par l'acide sulfureux a toutes les propriétés du soufre mou, c'est-à-dire du soufre chauffé à + 250°. L'observation de ce remarquable phénomène est due à F. Selmi, professeur de chimie à Reggio.

Ainsi, de la seule comparaison des divers états solides de l'eau entre eux, ou de ceux du soufre, il résulte évidemment que le mot *solide* n'a qu'une signification relative et nullement absolue.

Mais si l'on compare divers corps entre eux, c'est bien autre chose. Le bismuth n'est pas solide comme le fer; l'argent et l'or, comme l'antimoine. Le plomb diffère de l'arsenic autant que le potassium diffère du cuivre, etc.

Veut-on considérer le plomb comme offrant un état intermédiaire entre l'état solide et l'état mou ? Eh bien ! il diffère beaucoup du potassium et encore plus du soufre mou, de la térébenthine, du caoutchouc, etc., etc. Il n'y a pas de type de l'état solide.

Et les liquides comparés entre eux offrent d'aussi grandes différences, et si l'on voulait classer les corps par ordre de leur plus grande fluidité, quel serait le premier? quel serait le dernier? Ce serait là une classification fort embarrassante.

On peut supposer que les dissemblances ne sont pas moins grandes entre les gaz et même dans un seul gaz, suivant la température et la pression auxquelles il serait soumis ; mais la matière à l'état de gaz étant moins palpable et plus difficile à manier, on n'aperçoit pas aussi facilement les différences qu'elle présente.

Les solides peuvent être *amorphes* ou sans forme déterminée; *dimorphes*, ou posséder deux formes cristallines et des propriétés physiques très différentes, quoique étant chimiquement de même nature : le carbonate de chaux, dans le spath d'Islande et dans l'arragonite, en offre un exemple remarquable ; le soufre, parmi les corps simples, en présente un autre exemple ; enfin, les corps sont dits *polymorphes* quand ils peuvent affecter plus de deux formes, comme le carbone, par exemple. Le noir de fumée, le graphite et le diamant sont des modifications du même corps.

Disons un mot, pour terminer sur ce point, de la classe bien plus importante des corps *isomorphes*. Deux corps sont isomorphes lorsque l'un d'eux peut se substituer à l'autre dans une combinaison quelconque, sans que la forme cristalline primitive soit changée. Le sélénium et le soufre, parmi les métalloïdes, sont isomorphes, comme le sont, parmi les métaux, l'aluminium, le manganèse, le fer, etc.

L'isomorphisme a jeté un jour tout à fait inattendu sur une foule de faits qui avaient embarrassé la marche de la chimie et de la minéralogie; il a exercé la plus salutaire et la plus féconde influence sur les sciences physiques; sa découverte a été la source d'un grand nombre d'autres découvertes, et elle suffirait seule pour rendre impérissable le nom de *Mitscherlich.*

Ainsi, je suis autorisé à dire que la division des corps en solides, liquides et gazeux est arbitraire, ou peu s'en faut, et qu'elle n'a été imaginée que pour venir en aide à la faiblesse de notre intelligence. Ces trois divisions de la matière ne sont point absolues, quoique, à la rigueur, elles offrent des dissemblances qui justifient cette classification ; c'est surtout dans la cohésion que ces dissemblances existent; mais quant à l'action du calorique sur la matière sous ces trois états, elle est, ou à peu près, toujours la même : *L'équilibre de chaleur s'établit constamment entre toutes leurs molécules, s'établit constamment entre le contenant et le contenu.* Et c'est le contraire que l'on observe lorsqu'il s'agit des corps à l'état sphéroïdal. Examinons ce point avec quelque attention.

Ce qui différencie surtout les corps à l'état sphéroïdal des corps sous les trois autres états, c'est que la température de ceux-ci est *multiple et variable à l'infini*, tandis que la température des corps à l'état sphéroïdal est *une et invariable*, toutes choses étant égales d'ailleurs.

En d'autres termes, les corps à l'état solide, liquide et gazeux, considérés dans leurs rapports avec la chaleur, seraient dans un état *d'équilibre instable;* tandis, au contraire, que les corps à l'état sphéroïdal considérés également dans leurs rapports avec le calorique, seraient dans un état d'*équilibre stable*. Cette remarque

seule suffirait pour montrer toute l'importance de l'étude des corps à l'état sphéroïdal et le rôle immense qu'ils ont dû, qu'ils doivent jouer encore dans la nature.

Si l'on met un morceau de glace dans une capsule et qu'on soumette celle-ci à l'action de la chaleur, la glace fond, et tant qu'il en reste à l'état solide, la température se maintient à 0°; toute la chaleur reçue par la capsule est absorbée pour opérer la fusion de la glace, et elle devient latente dans l'eau. Ce phénomène s'accomplit en vertu de la loi bien connue du passage de l'état solide à l'état liquide.

Mais si l'on fait rougir la capsule avant d'y placer le morceau de glace, d'autres phénomènes ont lieu : la glace passe sans intermédiaire de l'état solide à l'état sphéroïdal. La glace conserve sa température initiale, l'eau prend celle de + 96°,5 et la capsule reste rouge ; conséquemment, point d'équilibre de chaleur. La loi du passage de l'état solide à l'état sphéroïdal diffère donc du tout au tout de celle du passage de l'état solide à l'état liquide. (*Voy. les* 55ᵉ *et* 56ᵉ *Expériences.*)

On verse de l'eau dans une capsule ; il y a contact, attraction moléculaire entre les deux corps, et la capsule est *mouillée.*

On verse de l'eau dans la même capsule, mais rouge de feu ; il n'y a pas de contact, pas d'attraction entre les deux corps, et la capsule n'est pas mouillée.

On place la première capsule sur le feu ; elle s'échauffe et transmet sa chaleur à l'eau qu'elle contient, jusqu'à ce que celle-ci entre en ébullition ; alors elle ne s'échauffe plus, et toute la chaleur reçue devient latente dans la vapeur. Mais, à tous les moments de l'expérience, l'équilibre de température existe entre le contenant et le contenu et la vapeur. Ainsi, quand l'eau est à + 10°, 20°, 30°... 100°, la capsule et la vapeur ont également la température de + 10°, 20°, 30°... 100°.

Toutefois, lorsque l'eau est en pleine ébullition, l'équilibre pourrait bien ne plus exister entre le contenant et le contenu. Cela ne semble-t-il pas résulter de ce qui a été observé dans la 65ᵉ expérience?

Quant à l'eau contenue dans la capsule rouge de feu, jamais

elle n'entre en ébullition et son évaporation est très lente; sa température est constamment la même; elle est parfaitement indifférente à la température de la capsule, qui peut varier depuis $+142°$ jusqu'à la température la plus élevée, et la température de la vapeur suit de près celle de la capsule avec laquelle elle est toujours en équilibre. (Voy. la 1re part., § III.)

Et puis, cette propriété si remarquable que possèdent les corps à l'état sphéroïdal, celle de réfléchir le calorique (que ne possèdent pas les corps à l'état liquide avec lesquels ils ont, d'ailleurs, une grande analogie quant à la cohésion), ne doit-elle pas être prise en grande considération et militer fortement en faveur de ma manière de voir sur ce quatrième état physique ?

Ajoutons à ce qui précède la suspension de l'action chimique, et nous aurons résumé les principales différences qui séparent les corps à l'état sphéroïdal des corps sous les trois autres états.

Voilà donc des dissemblances profondes, qui justifient pleinement mon opinion sur la nécessité d'ajouter un quatrième état physique de la matière, l'état sphéroïdal, aux trois autres états depuis longtemps admis par les physiciens.

Mais, je le répète et je le répéterai encore : si j'attache beaucoup de prix à la chose, j'en attache fort peu au mot. Si donc on propose d'autres expressions pour désigner l'ensemble des propriétés des corps à l'état sphéroïdal, je m'empresserai de les adopter ; mais jusque-là je persisterai à croire, d'une part, que l'admission de ce quatrième état physique dans la science est logique, et, de l'autre, que les deux mots que je propose peuvent lui servir de passe-port dans le monde savant.

Au surplus, qui lira verra ; car j'espère être assez heureux pour établir que les états solide, liquide et gazeux, sont des dérivés de l'état sphéroïdal, qui est l'état primordial de la matière.

On me dira sans doute que tous les corps de la nature n'ont pas encore été étudiés au point de vue de l'état sphéroïdal, qu'il en est d'infusibles, et que les métaux (59e *Expérience*), pourraient bien se comporter autrement que l'iode, le camphre, le suif, l'eau, etc.

Quant à l'infusibilité et à la fixité absolues des corps qu'on m'objecte, on n'y croit généralement plus.

Le carbone a été, jusque dans ces derniers temps, considéré comme jouissant d'une fixité absolue. Eh bien! les belles expériences de M. Le Play ont prouvé qu'il était volatil à une très haute température. Mais, la plus haute température que nous puissions faire naître peut-elle être comparée à celle qui peut être produite dans l'immense laboratoire de la nature? Assurément non. Aussi n'est-ce point une hérésie scientifique que de dire: toute espèce de matière peut être fondue et réduite en vapeur. M. Gaudin a vu l'acide silicique (le caillou) se volatiliser assez rapidement à une haute température.

Les expériences plus récentes de M. Despretz ne laissent pas le moindre doute à cet égard. Ce savant physicien est parvenu à l'aide du feu électrique à fondre et à volatiliser tous les corps de la nature, ceux là même qui étaient encore considérés comme réfractaires. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 2e semestre 1849.)

Pour ce qui est des métaux, il serait bien possible qu'ils se comportassent autrement que d'autres corps, mais je ne le crois pas, et personne ne le croira, si l'on admet l'homogénéité de la matière, avec une plus ou moins grande condensation, et que les lois newtoniennes sont applicables aux phénomènes qui nous occupent..... « Tout leur obéit dans la nature; tout en dérive aussi nécessaire» ment que le retour des saisons; et la courbe décrite par l'atome » léger que les vents semblent emporter au hasard, est réglée d'une » manière aussi certaine que les orbes planétaires. » (Laplace.)

Et puis j'admets qu'il y ait des exceptions, qu'il y en ait même beaucoup. Qu'importe? Est-ce qu'il n'en est pas ainsi dans toutes les théories? Et n'en sera-t-il pas de même tant qu'une théorie générale et complète comprenant la nature entière, n'aura pas été formulée? Mais quand cette théorie sera établie sur des bases inébranlables, la mission du genre humain sur la terre sera terminée et ses destinées seront accomplies.

§ IV. — Pourquoi les corps à l'état sphéroïdal restent-ils constamment à une température inférieure à celle de leur ébullition?

C'est là un des points les plus importants de la question qui nous occupe, et aussi un des plus difficiles à traiter.

Si l'on admettait avec nous que les corps à l'état sphéroïdal jouissent d'un pouvoir réflecteur presque absolu, la question serait résolue. On dirait : *Les corps à l'état sphéroïdal, lorsqu'ils ont acquis la température qui leur est propre sous cet état, ne s'échauffent plus, parce que le calorique ne les pénètre plus et qu'ils le réfléchissent presque entièrement*. (Voy. la première partie, § III et IV.) Mais il s'en faut de beaucoup que ce pouvoir reflecteur soit admis par tous les physiciens.

En Italie, le savant, l'excellent M. Belli dit de ce pouvoir réflecteur : « *Il che sarebbe un fatto veramente singolarissimo e me-* » *ritevole di tutta l'attenzione dei fisici.* » Puis, il ajoute : « *Però,* » *avendo io considerato con qualche diligenza le sperienze da esso* » *fatte a questo riguardo, non le ho trovate abbastanza conclu-* » *denti...* (1). »

En Suède, l'illustre Berzelius est encore plus explicite. Voici comment il s'exprime : « M. Boutigny prétend que la cause de ce » que la goutte elle-même est à une température inférieure au » point d'ébullition, vient de ce que la chaleur rayonnante n'y » pénètre pas, mais qu'elle est entièrement réfléchie à la surface. » Or, ceci est une erreur, car la *chaleur à l'état rayonnant n'é-* » *lève la température d'aucun corps* (2). »

Cette assertion a un caractère absolu qui me paraît en opposition avec quelques faits. Comment le soleil échaufferait-il notre globe? comment nos cheminées, dont la construction est si vicieuse, échaufferaient-elles nos appartements? que deviendrait la belle expérience de Pictet, etc., si la chaleur à l'état rayonnant n'élevait la température d'aucun corps? Il est inutile d'insister davantage sur ce point.

(1) *Giornale dell' I. R. Instituto Lombardo di scienze*, etc., 1844, p. 203.
(2) *Rapport annuel sur les progrès de la chimie*, 1845, p. 14.

D'ailleurs, la plupart des physiciens n'admettent pas la propagation du calorique au contact, et ils se fondent sur ce que le contact n'existe pas dans la nature, qu'il y a de l'intervalle entre les atomes des corps même les plus denses, et Berzelius, lui-même, appartient à cette classe de physiciens. On en trouverait la preuve dans l'article dont il s'agit.

Je persiste donc à croire que le calorique est réfléchi par les corps à l'état sphéroïdal, et j'ose espérer que l'immortel auteur que je viens de citer me pardonnera de ne point adopter son opinion sur ce point de mes recherches (1).

J'ai dit que la matière à l'état sphéroïdal réfléchissait la chaleur rayonnante. Est-elle entièrement réfléchie ? Je l'ignore, mais cela n'est pas probable. Quelques rayons seulement pourraient être absorbés et le plus grand nombre réfléchis. Alors, la lenteur de l'évaporation des corps à l'état sphéroïdal et leur température toujours inférieure au point d'ébullition seraient expliquées; malheureusement, je n'entrevois pas, quant à présent, de vérification expérimentale possible. Tout le monde comprendra qu'il y a là des difficultés presque insurmontables.

D'autres physiciens, au nombre desquels il faut compter M. Pouillet, pensent que la température des corps à l'état sphéroïdal est inférieure au point d'ébullition par le fait de leur évaporation.

Quant à nous, nous persistons à croire que les expériences décrites dans le § IV de la première partie de cet ouvrage sont très concluantes, et qu'il est démontré que le calorique est réfléchi par les corps à l'état sphéroïdal. Mais où, en quel point les rayons incidents sont-ils réfléchis ? Sont-ils réfléchis par l'atmosphère des sphéroïdes ou par leur surface ? ou bien pénètrent-ils d'une petite quantité dans les sphéroïdes d'où ils seraient ensuite réfléchis ? Voilà ce que nous ne savons pas. Nous pensons et nous croyons devoir le répéter de nouveau, que la solution de ces diverses questions appartient à l'analyse mathématique bien plus qu'à la physique expérimentale.

Un physicien anglais me demandait un jour ce que devenait le

(1) Ceci était écrit avant la mort, si regrettable, de l'illustre chimiste.

calorique ainsi réfléchi. Je lui répondis que je n'en savais rien, mais qu'il pourrait bien y avoir dans ce cas des phénomènes d'interférence comme dans la lumière. On dit de ce dernier phénomène : *De la lumière ajoutée à de la lumière produit les ténèbres.* Ne pourrait-on pas dire de celui qui nous occupe : *De la chaleur ajoutée à de la chaleur produit du froid?* Mais il ne faut pas perdre de vue l'expérience 31e, qui semble faire exception à la règle commune tout en la confirmant. Examinons avec quelque attention cette hypothèse, qui me paraît la plus rationnelle ou la moins irrationnelle, et c'est tout un (1).

De la chaleur ajoutée à de la chaleur produit du froid. Cette proposition, qui a paru singulière à quelques physiciens, n'est pourtant que la paraphrase, mot à mot, de la vérité fondamentale des interférences. En effet, s'il est établi, et nous croyons qu'il en est ainsi, que les corps à l'état sphéroïdal réfléchissent le calorique, il faut admettre nécessairement des phénomènes d'interférence, car il n'est pas en notre pouvoir de détruire quoi que ce soit, pas même un seul rayon de chaleur.

Assurément le mot *froid* est malheureux, mais voici la difficulté : c'est qu'il n'y en a pas d'autre qui fasse antithèse avec *chaleur*, comme le mot *obscurité* avec *lumière*. On sait que la lumière et l'obscurité absolues n'existent pas, ou que, si elles existent, nous n'en savons rien, et c'est comme si elles n'existaient pas.

Il en est de même de la chaleur et du froid. La chaleur absolue n'existe pas plus que le froid absolu; du moins nous ignorons ces deux termes extrêmes de l'action du calorique.

(1) J'ai émis cette opinion pour la première fois dans une lettre que j'ai adressée à l'Institut, le 14 juillet 1845, et que j'ai reproduite dans la deuxième édition de cet ouvrage, qui a paru au mois de décembre 1846. Cette manière de voir fut critiquée, ce qui me porta à l'examiner de nouveau. Mais, dans une seconde lettre à la date du 21 du même mois, je persistai dans l'opinion que j'avais émise.

Aujourd'hui, l'interférence du calorique rayonnant est généralement admise.

Me sera-t-il permis de revendiquer cette importante découverte? J'ose l'espérer. Je crois être, en effet, le premier qui ait reconnu l'interférence du calorique rayonnant par expérience, par induction et par analogie.

Les mots *lumière* et *obscurité*, *chaleur* et *froid*, ne peuvent donc exprimer et n'expriment, en effet, que des rapports ou des différences, d'où il suit que l'on pourrait définir l'obscurité : de la lumière en moins ; et le froid : de la chaleur en moins.

Je le répète, lumière et obscurité, chaleur et froid, n'ont point de sens absolu : ce qui serait froid pour un habitant du soleil (si tant est qu'il soit habité) serait chaud pour nous et à une température inimaginable pour l'habitant de Neptune.

Le même raisonnement s'applique à la lumière.

L'obscurité pour nous serait une lumière brillante pour l'homme qui aurait passé sa vie dans les cachots et pour le mineur qui aurait vieilli dans les houillères.

Un exemple entre mille sur la difficulté de déterminer où commence la lumière, où finit l'obscurité.

Qu'on fasse chauffer une barre de fer dans un lieu obscur, et qu'on dise à quelle température elle devient lumineuse... Il y a mille contre un à parier qu'il y aura autant de températures que d'observateurs.

J'ai donc pu supposer, sans être coupable d'hérésie scientifique, que de la chaleur ajoutée à de la chaleur produisait du froid, c'est-à-dire qu'un rayon incident rencontrant un rayon réfléchi, pouvaient se neutraliser réciproquement ou s'entre-detruire en un point quelconque, aiusi qu'ou le remarque pour la lumière dans le phénomène des interférences.

Dans la 31e expérience, que j'ai déjà eu l'occasion de rappeler, l'interférence aurait lieu à une distance infiniment petite de la surface sphéroïdalisante, d'où l'élévation de la température par le *refoulement* du rayon incident.

Cependant on m'a fait cette objection, on m'a dit : Un point de l'espace chauffé à + 10° sur lequel on fait tomber un rayon de chaleur dont le pouvoir calorifique = 1 portera la température du point en question à + 11°. Si alors on fait interférer un second rayon dont le pouvoir calorifique soit le même que celui du rayon précédent, le point de l'espace que nous avons supposé, au lieu de s'élever à la température de + 12°, retombera à sa température primitive, c'est-à-dire à + 10°, par suite de l'interférence

des deux rayons de chaleur ; donc de la chaleur ajoutée à de la chaleur ne produit pas de froid. C'est bien ainsi qu'il faut l'entendre et que, pour ma part, je l'ai toujours entendu.

Mais ce raisonnement est parfaitement applicable à la lumière, et dès lors la vérité fondamentale de l'interférence : « *de la lumière ajoutée à de la lumière produit les ténèbres* (1), » ne doit plus être considérée que comme une image poétique propre à frapper les intelligences rebelles. En effet, si l'on suppose un point de l'espace éclairé comme 10, et qu'on y fasse interférer deux rayons de lumière ayant l'un et l'autre un pouvoir éclairant égal à 1, ces deux rayons se neutraliseront, s'éteindront au point d'interférence, mais n'auront pas le pouvoir d'éteindre, de produire les ténèbres sur le point éclairé comme 10, qui restera éclairé comme devant.

Si donc on ne peut pas admettre que de la chaleur ajoutée à de la chaleur produit du froid, on ne saurait admettre non plus que de la lumière ajoutée à de la lumière produit les ténèbres.

Je suis heureux de devoir à mon illustre compatriote, Fresnel (2), la seule hypothèse rationnelle qui se présente à l'esprit pour expliquer d'une manière satisfaisante la réflexion du calorique par les corps à l'état sphéroïdal.

Le son, comme la lumière, offre dans certaines circonstances des phénomènes d'interférence. La première fois que je les ai bien observés, c'était à Cambridge, dans le voisinage de la chapelle de King's College.

Lorsque la cloche de cette chapelle résonnait, des ondes sonores très pures se produisaient et se renforçaient, puis se détruisaient tout à coup pour recommencer ensuite, *interférer* de nouveau, et enfin *s'éteindre* définitivement.

Ce phénomène n'est pas nouveau, mais je ne l'avais jamais entendu se produire aussi nettement qu'à Cambridge (3).

Cette observation me rappelle ce mot de Mercier : « Rien de

(1) Arago.

(2) Fresnel est né à Broglie, dans le département de l'Eure.

(3) J'habitais, comme membre de l'Association britannique, le collége de Clare-Hall, où j'ai reçu de M. le docteur Williamson la plus franche et la

» plus difficile que de bien voir ce qu'on a constamment sous les » yeux. » Ici il faudrait dire : Rien de plus difficile que de bien entendre ce qu'on entend tous les jours. Le mot de Mercier est applicable aussi à l'état sphéroïdal, phénomène contemporain de la création.

Discutons maintenant l'opinion de M. Pouillet. Cette opinion avait je ne sais quoi de spécieux et de séduisant qui pouvait entraîner les hommes qui ne se seraient pas pénétrés de toute la partie expérimentale de ce livre. J'avoue même que j'ai hésité longtemps avant de la rejeter ; mais le raisonnement, d'une part, et l'expérience, de l'autre, ne permettent plus d'admettre cette explication comme satisfaisante, parce qu'en effet elle ne l'est pas.

Vous avons vu (§ II, 1re partie) que l'eau à l'état sphéroïdal s'évaporait d'autant plus vite qne la température du vase était plus élevée, suivant en cela la loi ordinaire; et encore, que la température de la vapeur des corps à l'état sphéroïdal était égale à celle des vases où elle était coercée (§ III, 1re partie). Ceci posé, le sphéroïde, quelle que soit sa nature, devrait, d'après M. Pouillet, se refroidir d'autant plus que le vase serait plus chaud. En effet, si la vapeur se formait aux dépens du calorique du sphéroïde, la température de celui-ci devrait s'abaisser en raison directe de la quantité de vapeur formée et de sa température. Mais nous savons qu'il n'en est point ainsi, et que la température de l'eau, par exemple, est invariable et de + 98°,5 dans une capsule ou une chaudière qui peut être portée de 200° à 1500°. Ce simple raisonnement suffirait pour faire rejeter l'explication dont il s'agit, et les deux expériences suivantes montrent clairement que l'évaporation se fait aux dépens du calorique des surfaces incandescentes et non de celui des sphéroïdes.

103e *Expérience.* — La température de mon laboratoire étant de + 17°, 5, on a entouré de coton cardé la cuvette d'un thermomètre et on l'a arrosé avec 15 gouttes d'éther hydrique pur.

plus cordiale hospitalité. M. Williamson est connu dans le monde savant par divers travaux scientifiques, notamment par ses recherches sur le mouvement des glaciers.

L'évaporation de l'éther se faisant en grande partie aux dépens du calorique du thermomètre, sa température devait s'abaisser, et elle est en effet descendue à + 9° ; puis l'éther évaporé, l'équilibre s'est rétabli et le thermomètre a remonté à + 16°. La cuvette a été arrosée de nouveau avec la même quantité d'éther, et le thermomètre a été descendu au centre d'une petite chaudière sphérique, ne contenant pas d'eau et dont la température était de + 200°. *Le thermomètre n'était pas encore entièrement descendu que la colonne de mercure montait déjà....*, et elle a continué de monter.

104e *Expérience.* — La même que la précédente, avec cette différence qu'il y avait dans la chaudière quelques grammes d'eau à l'état sphéroïdal. Le résultat a été absolument le même.

Ainsi, c'est une propriété de la matière à l'état sphéroïdal de rester à une température inférieure à celle de son ébullition, et il demeure prouvé que cette température n'est pas due à l'évaporation, comme quelques physiciens l'avaient admis, et encore, que l'évaporation des corps à l'état sphéroïdal, toute lente qu'elle est, se fait aux dépens du calorique des vases et non de celui des sphéroïdes.

On peut m'objecter, il est vrai, que ces deux expériences ne sont pas entièrement comparables à celles qui se font avec les corps à l'état sphéroïdal, et je sens bien toute la valeur de cette objection ; mais elles prouvent néanmoins que le changement d'état, que le passage à l'état de vapeur ne se fait pas dans une chaudière comme à l'air libre et à des températures inférieures au point d'ébullition du corps soumis à la vaporisation. On comprend, du reste, qu'il y a dans cette nouvelle direction de belles et importantes recherches à faire : ai-je besoin d'ajouter que je les ferai?

Ici je me permettrai de faire observer (et j'espère que l'on me rendra toute justice à cet égard) que je fais tous mes efforts pour me soustraire à l'empire des idées préconçues, et que je n'affaiblis en rien les objections qui peuvent m'être faites. Je cherche la vérité avec ardeur, je la cherche de toutes les puissances de mon âme, sans me préoccuper ni des personnes, ni des choses. Je puis

me tromper, assurément; mais du moins si je me trompe, je ne veux tromper personne.

Quelle est la cause de la réflexion du calorique par les corps à l'état sphéroïdal ? On l'ignore. C'est une propriété de la matière sous cet état, et la propriété se définit : un effet dont la cause est inconnue.

Or, quand on rencontre un effet dont la cause est inconnue, la marche est toute tracée, et nous l'avons suivie. Nous avons fait pour cette propriété ce que nous avions fait pour toutes les autres; nous l'avons étudiée avec soin, autant du moins que le permettait l'exiguïté de nos ressources expérimentales, et nous en avons recherché les lois afin de les coordonner et d'en établir la théorie. Qu'est-ce, en effet, qu'une théorie? « C'est la liaison analytique des faits particuliers avec un fait général. » Or, le fait le plus général que nous connaissions, c'est l'attraction. Examinons donc si les faits nombreux que nous avons recueillis sont régis par les lois de l'attraction; mais avant, cherchons quelle est la cause de l'état sphéroïdal.

§ V. — Quelle est la cause de l'état sphéroïdal? En d'autres termes : Pourquoi une capsule froide est-elle mouillée par un liquide quelconque, et pourquoi ne l'est-elle pas quand elle est chaude.

D'après les termes mêmes de la question, on comprend que nous devions débuter par dire un mot des phénomènes capillaires.

Tout le monde sait que la plupart des liquides mouillants ont la propriété de s'élever d'une certaine quantité au-dessus du niveau du liquide dans des tubes capillaires ou entre deux plans plus ou moins rapprochés. En général, lorsqu'un tube est mouillé par un liquide, la surface de celui-ci est concave; dans le cas contraire, elle est convexe; l'alcool peut être cité comme exemple du premier cas; le mercure, parfaitement privé d'oxyde, offre un exemple du second. Mais ce ne sont là que des faits. Si l'on cherche à remonter à la cause, on est fort embarrassé, et ce sujet difficile, qui a exercé la sagacité des plus grands géomètres, est encore parfaitement obscur.

« L'affinité des liquides pour les corps solides varie avec la » nature de la substance de ces derniers; elle varie aussi suivant » l'espèce de liquide; de telle sorte que, pour les uns, cette force » d'adhésion est assez puissante pour se confondre, dans plusieurs » cas, avec l'affinité chimique; dans d'autres cas, au contraire, » cette puissance d'affinité est nulle, et il n'y a aucune adhésion » entre les liquides et les corps solides. Lorsqu'il y a adhésion » entre ces substances, on dit que le liquide *mouille* le corps; s'il » n'y a pas adhésion, on dit qu'il ne *mouille pas* (1). »

Dirons-nous, après cela, que l'état sphéroïdal appartient aux phénomènes capillaires? Dirons-nous que l'attraction réciproque des molécules du corps à l'état sphéroïdal est prépondérante et l'emporte sur celle exercée par le corps chaud sur ces mêmes molécules? Nous le pouvons sans doute, mais cela ne nous apprend rien sur la cause de ce phénomène, et cela revient à dire qu'un corps froid peut être mouillé par un corps quelconque et ne pas l'être quand il est chaud. On constate un fait et rien de plus. Je me trompe: on constate un autre fait, à savoir: que la chaleur est la cause véritable du phénomène, puisqu'elle agit de la même manière sur tous les corps connus. En effet, on peut faire passer un corps à l'état sphéroïdal dans toute espèce de capsule: métal, porcelaine, verre, terre, grès, etc., etc. Si donc nous connaissions la nature intime de la chaleur et son mode d'action sur les corps, le problème serait résolu; mais il s'en faut de beaucoup que nous soyons si avancés. Aussi je considère encore aujourd'hui ce problème comme étant insoluble. Ce qui précède et ce qui va suivre ne doit être pris qu'à titre d'essai et propre tout au plus à provoquer de nouvelles recherches.

Il serait facile de prolonger longuement cette discussion en résumant les diverses théories des phénomènes capillaires; mais nous le croyons inutile, rien de nouveau ne pouvant surgir de cette exposition qui puisse servir à éclaircir la question de l'état sphéroïdal. On les trouvera d'ailleurs dans tous les traités de physique, notamment dans la 4e édition de celui de M. Pouillet, t. II, p. 1 à 20.

(1) Peltier, *Dictionnaire universel d'histoire naturelle*, art. Fluide.

On sait qu'Ampère avait cherché à expliquer les actions chimiques, en supposant avec vraisemblance que les molécules de tous les corps contenaient de l'électricité : celle-ci de l'électricité négative, celle-là de l'électricité positive ; en outre, chacune de ces molécules avait une atmosphère électrique de nom contraire à l'électricité intérieure. Lorsque la combinaison s'effectuait entre deux corps, elle commençait par les deux atmosphères ; d'où production de chaleur et de lumière ; ensuite les deux molécules se combinaient et leurs fluides respectifs se neutralisaient. C'était aussi élégant qu'ingénieux. Pourrions-nous voir, dans l'état sphéroïdal, des phénomènes opposés, et admettre que le corps sphéroïdalisant et le corps sphéroïdalisé ont des atmosphères électriques de même nom, et que là serait la cause de la répulsion ? Nous n'osons le nier ni l'affirmer. Nous ferons seulement observer que le changement d'état s'opère presque toujours sans aucune apparition d'électricité, sauf les cas où le corps à l'état sphéroïdal a de l'affinité chimique pour la capsule qui le contient. Ainsi, pour citer des exemples, l'eau passe de l'état sphéroïdal à l'état liquide dans une capsule de platine sans donner aucun signe d'électricité, tandis que l'acide azotique, en passant de l'état sphéroïdal à l'état liquide dans une capsule de cuivre, donne lieu à un courant très énergique. On pourra objecter, il est vrai, que si l'on n'aperçoit aucun signe d'électricité dans le changement d'état de l'eau, cela tient à l'imperfection des instruments, et vraiment ce serait bien possible (1).

Disons cependant que de l'électricité est mise en liberté lorsque le changement d'état a lieu à une température élevée, c'est-à-dire lorsqu'il se forme de la vapeur à une haute tension, et c'est ce qu'on observe presque toujours lorsqu'on expérimente avec des solutions salines. (Peltier.)

Ce qui vient d'être dit de l'électricité pourrait-il se dire du calorique ? ce dynamide se constituerait-il dans certaines circonstances comme l'électricité dans deux états opposés, l'un +, l'autre — ? Je ne suis pas éloigné d'admettre cette hypothèse.

(1) Voyez ce qui a été dit à propos de l'explosion des chaudières, p. 88.

Dans le sujet qui m'occupe, le corps sphéroïdalisant et le corps à l'état sphéroïdal seraient l'un et l'autre soit à l'état +, soit à l'état —; d'où la répulsion. C'est ainsi que les pôles magnétiques et les électricités de même nom se repoussent...

Dans le paragraphe précédent, j'ai fait des emprunts à la lumière pour expliquer la réflexion du calorique par les corps à l'état sphéroïdal.

Maintenant c'est à l'acoustique que je vais m'adresser pour résoudre les questions posées en tête de ce paragraphe, en m'appuyant sur l'autorité si imposante d'Ampère.

Mais avant, je rappellerai brièvement qu'il existe de nombreuses analogies entre le son, l'électricité, la lumière et le calorique.

Le son est produit par les vibrations de la matière; les autres phénomènes résulteraient des vibrations, soit de l'éther seul, soit de l'éther combiné avec la matière (1). C'est du second cas seulement qu'il s'agit ici.

Ces analogies sont surtout remarquables entre le son et le calorique; aussi Ampère n'a-t-il point hésité à assimiler le calorique au son, à considérer le premier comme étant dû au mouvement vibratoire de l'éther combiné avec la matière, de même que le second est dû au mouvement vibratoire de la matière. Ce n'est donc, à vrai dire, que la théorie d'Ampère que je propose, et si je propose une théorie de l'état sphéroïdal, c'est par un sentiment

(1) L'éther, dont l'existence n'est pas encore pleinement démontrée, est un fluide impondérable ou plutôt *impondéré*, et parfaitement élastique. Ce fluide remplit les espaces planétaires et les intervalles moléculaires des corps; en un mot, l'éther est partout, dans le vide le plus parfait aussi bien que dans le corps le plus dense.

Mais l'esprit ne saurait admettre l'existence d'un fluide impondérable. Si c'est un fluide, c'est un corps; or, un corps est pondérable : donc l'éther est pondérable. Pour nous, l'éther c'est le principe des corps, c'est leur état primordial; c'est la matière dans un état de ténuité extrême, ténuité qui l'empêche d'être palpable, d'être saisissable, et c'est pour cela que nous préférons le mot *impondéré* au mot *impondérable*.

Nous savons bien que l'éther est impondéré, mais nous ne pouvons pas affirmer qu'il soit impondérable. (Voyez plus loin : *La terre et son satellite*, et le *résumé de la troisième partie*, à la fin de l'ouvrage.)

de déférence respectueuse pour l'Académie, qui a manifesté implicitement le désir de connaître mes vues à cet égard. Je lis en effet, dans le rapport déjà cité (1) : « L'auteur du Mémoire dont » nous avons à rendre compte regarde comme inadmissibles » les explications données jus'qu'à présent, et cependant il n'en » propose aucune autre ; mais il ne présente ce Mémoire que » comme le prélude d'un long travail auquel il continue de se » livrer, et il est à présumer que lorsqu'il aura recueilli un bon » nombre d'observations, il cherchera à les mettre en harmonie, » et qu'il produira ses vues théoriques particulières. »

Un résumé rapide des bases de la théorie d'Ampère est nécessaire ici ; il fera mieux comprendre l'application de cette théorie aux phénomènes en question.

Un boulet rouge de feu ne pèse pas plus que lorsqu'il est froid, et un timbre suspendu au fléau d'une balance pèse le même poids, soit qu'il vibre ou qu'il ne vibre pas.

La propagation du calorique rayonnant suit la même loi que celle du son : dans les deux cas, l'intensité est en raison inverse du carré de la distance. Les rayons calorifiques et les rayons sonores sont réfléchis d'après les mêmes lois : ils traversent certaines substances, et donnent à la surface qu'ils frappent la propriété de rayonner à son tour.

Un corps chaud a plus de volume que lorsqu'il est froid ; il en est de même d'une corde qui vibre transversalement et d'une tige qui vibre longitudinalement : on trouve la première plus épaisse et la seconde plus longue.

Quand un corps vibre avec trop d'énergie, il se brise ; quand on le chauffe au delà d'une certaine température, il se *brise* aussi, il change d'état par suite d'une trop grande amplitude des vibrations, il passe de l'état solide à l'état liquide et à l'état gazeux (2) ; il peut passer aussi à l'état sphéroïdal.

Les mêmes analogies existent entre le son et la chaleur spécifique et la chaleur latente, mais elles sont plus difficiles à saisir.

(1) *Comptes rendus*, séance du 9 mars 1840.

(2) Voyez Person, *Éléments de physique*, t. II, p. 224.

Voyons maintenant si nous pouvons faire l'application de cette théorie à l'état sphéroïdal.

Considérons le son comme un *mouvement* résultant de l'action d'un *moteur* sur un *mobile*.

Prenons un timbre pour mobile et un marteau pour moteur.

1° Frappons un petit coup sur le timbre : celui-ci vibre dans un ton et avec une intensité quelconques, c'est-à-dire qu'il fait un certain nombre de vibrations dans un temps donné, chacune d'elles ayant également une amplitude donnée.

2° Frappons un coup plus fort sur le timbre : il vibre encore dans le même ton, mais avec plus d'intensité, c'est-à-dire que le nombre de vibrations reste le même, avec cette différence que leur amplitude est plus grande.

3° Frappons un coup très fort sur le timbre : il vibre toujours dans le même ton, mais avec une plus grande intensité. Ici encore même nombre de vibrations avec augmentation d'amplitude.

Maintenant considérons la température d'un corps à l'état sphéroïdal comme un *mouvement* résultant de l'action d'un *moteur* sur un *mobile*, et considérons cette température comme le *ton* dans lequel vibre l'éther (1) condensé et combiné avec la matière, et considérons l'évaporation comme représentant l'intensité du mouvement.

Prenons une goutte d'eau pour mobile, et une capsule pour moteur.

1° Projetons la goutte d'eau dans la capsule chauffée à + 200°, cette eau prendra instantanément la température de + 96°,5, et s'évaporera dans un temps donné.

2° Projetons la goutte d'eau dans la même capsule chauffée à + 1000°, cette eau prendra instantanément la température de + 96°,5, et s'évaporera plus vite que dans le premier cas.

3° Projetons la goutte d'eau dans la même capsule chauffée à + 1500°, cette eau prendra immédiatement la température de + 96°,5, comme dans les deux premières expériences, et son

(1) Voyez l'excellent article ÉTHER du *Dictionnaire universel d'histoire naturelle*, par M. Ath. Pellier.

évaporation sera encore plus rapide que dans l'expérience précédente.

Comme on voit, l'analogie est parfaite ; l'éther vibre toujours dans le même ton (+ 96°,5), et l'intensité du son (l'évaporation) croît avec la force du choc (la température de la capsule).

Le timbre vibre dans le ton qui lui est propre, et l'eau prend la température qui la caractérise à l'état sphéroïdal (voy. les *expériences* 55ᵉ et 56ᵉ) ; en d'autres termes, l'éther condensé, ou combiné avec l'eau, vibre dans le ton qui lui appartient dans cet état de condensation.

L'intensité du son augmente avec la force du choc, comme l'évaporation, qui correspond à l'intensité, augmente avec la température de la capsule.

Voici cependant une objection. Dans le cas du timbre, le marteau est mis en contact immédiat (?), et il n'en est point ainsi avec l'eau, puisque les corps à l'état sphéroïdal ne sont pas en contact avec les surfaces incandescentes

A cette objection la réponse est facile. L'éther de l'eau vibre par influence comme peuvent vibrer tous les corps de la nature ; on sait, en effet, qu'une corde, une tige, un timbre, une membrane, etc., vibrent dans le ton qui leur est particulier quand on fait vibrer un autre corps dans leur voisinage.

Ici nous n'avons considéré que les vibrations de l'éther ; mais il ne faut pas perdre de vue que la matière pondérable vibre en même temps et avec assez d'énergie pour *se briser*, c'est-à-dire pour changer d'état, pour passer de l'état sphéroïdal à l'état gazeux.

Ces vibrations de la matière pondérable à l'état sphéroïdal sont souvent très apparentes, ainsi que je l'ai fréquemment observé. Elles sont quelquefois caractérisées par des sons d'une grande pureté (*exp.* 63ᵉ), et elles ont la plus grande analogie avec le mouvement vibratoire d'une cloche. Ce sont des ellipses qui s'entre-croisent sous des angles divers, d'où il suit que les sphéroïdes en vibration ont presque toujours des saillies en nombre pair, et c'est en effet ce que j'ai observé.

Si l'on se rappelle que la réflexion du calorique (3ᵉ part., § IV)

par les corps à l'état sphéroïdal ne peut être expliquée d'une manière satisfaisante, si l'on rejette la possibilité des interférences, on admettra cet essai de théorie qui confirme d'ailleurs les vues d'Ampère.

Peut-être trouvera-t-on quelque jour que la véritable cause de l'état sphéroïdal est due à un phénomène d'interférence.

Mais je ne présente cette théorie qu'avec la plus grande réserve, et l'on comprendra toute ma pensée quand j'aurai dit qu'elle est basée tout entière sur l'existence problématique de l'éther. Je ne la propose d'ailleurs que pour répondre à cette question qui s'est mille fois reproduite et qui m'est venue de toutes parts, ainsi que je l'ai dit : Quelle est la théorie de ces phénomènes? Celle-ci me paraît la moins imparfaite de toutes celles qui se sont présentées à mon esprit. On sent d'ailleurs qu'elle est bien plus du domaine des mathématiques transcendantes que de la physique expérimentale, encore bien qu'il reste beaucoup d'expériences à faire.

Il reste, par exemple, toute la série d'expériences à faire dans le vide. Nous savons déjà que les corps se maintiennent à l'état sphéroïdal dans le vide comme à l'air libre ; que l'acide sulfureux à l'état sphéroïdal ne bout pas dans le vide dans une capsule rouge de feu. Mais quelle est la température des corps à l'état sphéroïdal dans le vide? quelle est celle de leur vapeur? et vingt autres questions comme celles-là restent à résoudre.

En attendant que je puisse me livrer à ces nombreuses et intéressantes recherches, je vais essayer d'expliquer quelques-unes des anomalies que j'ai observées et que j'ai consignées dans cet ouvrage.

J'ai déjà signalé plusieurs fois le mouvement tumultueux qui a lieu dans l'eau à l'état sphéroïdal en grande quantité, et les gouttes d'eau lancées de toutes parts par la masse (*exp.* 12ᵉ, 40ᵉ et 69ᵉ). La vapeur naissant, quoique en petite quantité, de toute la surface de l'eau, peut bien entrer pour quelque chose dans la production de ce phénomène, par le double obstacle qu'elle rencontre dans la pression du liquide et la résistance des parois de la capsule; mais ce n'est ni la seule ni la principale cause de la projection des gouttes d'eau. La véritable cause de ce phéno-

mène est dans le mouvement vibratoire de l'eau. On se souvient qu'il se forme souvent, presque toujours, des ellipses qui s'entre-croisent et se succèdent avec une grande rapidité.

On verra, dans le prochain paragraphe, que l'eau à l'état sphéroïdal sur une surface plane ne peut pas y former une couche de plus de 7 millimètres d'épaisseur. Ceci posé, on comprend sans peine que toutes les fois qu'un obstacle quelconque force l'eau à prendre une plus grande épaisseur que celle de 7 millimètres, comme, par exemple, dans une capsule hémisphérique, les *élongations* des ellipses, ou plutôt des ellipsoïdes, ne peuvent plus se faire librement; les extrémités correspondant au grand axe vont frapper les parois de la capsule, où elles rencontrent une résistance qu'elles ne sauraient vaincre; elles sont réfléchies, et font jaillir l'eau en dehors sous forme de gouttes plus ou moins volumineuses, par suite de sa vitesse acquise.

C'est ainsi que la vague rencontrant une jetée perpendiculaire, lance des torrents d'eau dans les airs.

Il peut arriver encore que les élongations des ellipsoïdes se fassent verticalement; alors l'eau peut être projetée dans cette direction du centre même de la masse d'eau, et j'ai vu quelquefois ce phénomène s'accomplir de la sorte.

Nous avons comparé une capsule rouge de feu à un timbre; comparons-la maintenant à une corde en vibration, et c'est la même chose au point de vue acoustique, et essayons d'expliquer la 54ᵉ expérience.

La capsule (éther et matière) vibre dans un ton quelconque, mais ce ton devient de plus en plus grave au fur et à mesure de son refroidissement (ainsi ferait une corde qui serait de moins en moins tendue), et il arrive un moment où le nombre des vibrations qu'elle fait, est égal ou à peu près à celui de l'eau (éther et matière); le contact a lieu d'abord par quelques points, puis de toutes parts, et par suite l'*équilibre de chaleur* s'établit, ce qui revient à dire que contenant et contenu vibrent dans le même ton.

Si au contraire on remonte rapidement la mèche de la lampe pour augmenter la température, ce qui correspond à ajouter des poids à l'extrémité de la corde, l'état sphéroïdal reparaît dans

toute sa pureté, parce que les vibrations de la capsule étant plus multipliées ou n'étant point isochrones à celles de l'eau, les unes et les autres ne sauraient ni se superposer ni se renforcer, ni vibrer à l'unisson; mais des phénomènes d'interférence pourraient se produire, et ils se produisent en effet par la réflexion du calorique par le corps à l'état sphéroïdal.

Cette théorie nous ramène naturellement à une question posée dès le premier paragraphe, et reproduite plusieurs fois dans le cours de cet ouvrage, savoir : *Pourquoi l'eau mouille-t-elle un vase froid ? Pourquoi ne le mouille-t-elle pas quand il est chaud?*

Un vase est mouillé quand l'éther disséminé dans sa masse ou existant à sa surface vibre à l'unisson de celui de l'eau ou de tout autre corps. Dans ce cas on dit : L'attraction entre le corps mouillant et le corps mouillé l'emporte sur l'attraction des molécules du corps mouillant entre elles, et réciproquement, le vase n'est pas mouillé, etc.

C'est ici le lieu de dire que l'état sphéroïdal a de nombreuses espèces. Tout le monde a vu rouler des gouttes d'eau sur les feuilles des végétaux, sur du papier huilé ou saupoudré avec du lycopode, sur du noir de fumée déposé sur une surface polie par la mèche d'une bougie en combustion, etc. Ces phénomènes sont dus à d'autres causes que celle que nous étudions et qui produisent d'autres effets. Exemple : « Sur une feuille d'arbre, une » goutte sphérique de rosée peut rassembler les rayons du so- » leil et brûler la feuille à son foyer comme une lentille; c'est un » fait bien connu (1). » C'est un sujet sur lequel je reviendrai.

Dans la théorie d'Ampère, le changement d'état des corps s'explique en disant que l'état solide est incompatible avec telle amplitude de vibrations, et l'état liquide avec telle autre. L'état gazeux étant dans la dernière limite du changement physique des corps, et les vibrations, dans ce dernier cas, pouvant avoir un nombre et une vitesse probablement infinis, l'état gazeux doit présenter toutes les vitesses et tous les nombres de vibrations imaginables, c'est-à-dire se mettre en équilibre de température

(1) *Études de chimie philosophique*, par E.-N. Martin, p. 128.

avec tous les corps connus, pourvu qu'ils soient chauffés à une température supérieure au point d'ébullition de la substance qui a donné naissance au gaz ou à la vapeur.

Pour que les choses se passent comme nous venons de le dire, il faut : 1° qu'un solide projeté sur une surface incandescente conserve sa température initiale, ou, ce qui revient au même, que le nombre et l'amplitude de ses vibrations soient invariables, tant qu'il est solide ; 2° que le nouvel état (l'état sphéroïdal) par lequel il passe prenne presque instantanément (la rapidité avec laquelle le mouvement se transmet n'étant pas infinie) la température qui lui est propre ; ce qui revient à dire qu'il faut qu'il vibre dans le ton qui le caractérise à l'état sphéroïdal et avec une intensité proportionnée à celle du corps qui transmet le mouvement vibratoire ; 3° enfin, que le troisième état (vapeur) par lequel il passe, puisse se mettre en équilibre de chaleur avec tous les corps connus, pourvu qu'ils soient chauffés à une température supérieure à celle qui est nécessaire pour opérer ce troisième changement d'état : en d'autres termes, la vapeur doit pouvoir vibrer dans tous les tons et avec toutes les vitesses possibles.

Or, tel est le triple résultat donné par les 55e et 56e expériences.

La théorie d'Ampère, si ingénieuse et, pour moi, si satisfaisante, reçoit donc de l'état sphéroïdal une éclatante confirmation.

Poursuivons notre examen.

Dans la 63e expérience, non-seulement *on voit* vibrer le sphéroïde, mais *on l'entend*. Ici l'*acoustique rationnelle* se confond avec l'acoustique proprement dite. Les sons que l'oreille perçoit sont-ils produits par la capsule ou par le sphéroïde ?

Dans la 65e expérience, nous voyons la fonte et l'eau vibrer à l'unisson et dans un ton de plus en plus aigu et avec une intensité toujours croissante, jusqu'à ce que l'amplitude des vibrations de l'eau devienne incompatible avec l'état liquide ; alors elle passe à l'état de vapeur en absorbant, du moins en partie, le mouvement vibratoire de la fonte : d'où son refroidissement.

Pour bien comprendre ceci, il faut se rappeler que l'action

d'une force ne dure qu'un instant, et que l'effet qu'elle produit se continue éternellement.

Ainsi, le mouvement vibratoire de la fonte n'est pas détruit, mais il passe en grande partie dans la vapeur. On dirait, dans l'ancienne théorie, que toute la chaleur devient latente dans la vapeur, et cela explique très bien le phénomène; mais comme on ne sait pas ce que c'est que de la chaleur latente et que l'on comprend très bien les vibrations de la matière, et, par analogie, celles de l'éther uni à la matière, la théorie d'Ampère me paraît préférable.

Un mot encore. Le mouvement vibratoire passe dans l'eau à peu près comme celui d'un verre en vibration passe dans la main qui le presse. C'est une expérience facile à répéter. Qu'on fasse vibrer un verre à vin de Champagne, qu'on le saisisse avec la main, et il cessera de vibrer immédiatement. Le mouvement vibratoire est-il détruit pour cela? Nullement; il passe dans la main qui le transmet au bras, à l'air, au sol, etc. Dans la 65e expérience, le verre, c'est la marmite, et l'eau remplit l'office de la main.

Cherchons à expliquer ce phénomène singulier et bien digne d'attention, quoique fort simple selon nous, en nous appuyant sur les données de la physique classique.

Au moment où l'on retire la marmite du feu, l'eau ne cesse pas de bouillir immédiatement. Une certaine quantité de vapeur est en voie de formation; mais cette vapeur ne peut plus se former qu'aux dépens de la chaleur de la paroi inférieure de la marmite: or, on sait que l'eau, pour passer de l'état liquide à $+100°$ à l'état de vapeur, absorbe 537 calories; on sait encore que la chaleur spécifique du fer n'est que de 0,1138, et nous admettons que celle de la fonte en diffère peu. D'après cela, il n'est donc pas étonnant que la marmite se refroidisse immédiatement et qu'elle se réchauffe aussi vite, dès que l'eau cesse de bouillir, l'équilibre de température se rétablissant rapidement entre le contenant et le contenu.

Dans l'ancienne théorie, les 66e et 67e expériences me paraissent absolument inexplicables, tandis qu'on les explique d'une manière satisfaisante dans la théorie d'Ampère.

Dans la première de ces deux expériences, nous voyons sous l'eau, et non dans sa masse, des bulles se former au contact de la capsule. Comment cela ? Le voici. Les molécules d'eau et celles de platine vibrent à l'unisson, mais les excursions des molécules de platine sont compatibles avec son état actuel, l'état solide; celles de l'eau à l'état liquide ont moins de stabilité, elles ont plus de tendance à passer à l'état gazeux. Si donc le mouvement vibratoire du platine peut s'ajouter à celui de l'eau, celle-ci pourra être *brisée*, c'est-à-dire qu'elle passera à l'état de vapeur, l'amplitude de ses vibrations moléculaires n'étant plus compatible avec l'état liquide.

On ne saurait attribuer l'évaporation de l'eau ni son ébullition à la soustraction de la pression atmosphérique, car c'est sous l'eau, c'est-à-dire au contact de la capsule, que l'ébullition commence; je ne veux pourtant pas dire que la pression de l'atmosphère soit sans influence, mais je pense qu'elle n'a ici qu'une influence tout à fait secondaire, ainsi qu'on va le voir.

Dans la 67e expérience, nous voyons la même quantité d'eau à l'état sphéroïdal, mais par une autre cause que la chaleur; cette eau ne saurait toucher la capsule, et elle ne peut avoir qu'un point de contact avec le noir de fumée, si tant est même qu'il y ait un point de contact. Aussi, qu'arrive-t-il ? qu'aucun signe d'ébullition ne se manifeste, que le changement d'état est très lent, encore bien que la surface de l'eau dans cette expérience soit beaucoup plus grande que dans la première. Mais c'est que, dans la 67e expérience, le passage à l'état de vapeur ne peut se faire qu'aux dépens du mouvement vibratoire propre à l'eau.

La différence dans les temps d'évaporation de ces deux expériences montre évidemment le peu d'influence de la pression atmosphérique sur l'évaporation, au moins dans ces deux cas-là.

Je n'insisterai pas davantage sur l'application de la théorie d'Ampère à l'explication des phénomènes de l'état sphéroïdal. Cette ébauche suffit pour donner une idée de mes vues sur ce point, vues auxquelles je n'attache d'ailleurs qu'une importance très secondaire; mais on me demandait une théorie, et mon de-

voir était d'en donner une; je propose celle-ci, qui me paraît suffisamment exacte dans l'état actuel des choses.

Néanmoins je la soumets avec réserve, et cependant avec confiance, au jugement des physiciens, pour les raisons que voici : c'est que les expériences n'ont pas été faites pour la théorie, mais bien la théorie pour les expériences. En faisant les expériences décrites dans ce Mémoire, je n'avais aucun souci de théorie, point d'idées préconçues, point de cadre tracé d'avance qu'il fallût remplir à tout prix. Rien de tout cela. J'ai fait des expériences pour examiner le phénomène sous toutes ses faces, mais sans me préoccuper le moins du monde des résultats qu'elles donneraient; et c'est pour cela, comme je l'ai dit, que je présente cette théorie avec quelque confiance, tout incomplète qu'elle est, n'ayant point eu à me défendre contre l'entraînement d'un système préconçu.

Maintenant j'abandonne encore une fois le champ de la spéculation, mais pour y revenir plus tard, et je rentre dans le domaine des faits.

§ VI. — Les corps à l'état sphéroïdal sont-ils soumis à la loi de Newton sur l'attraction ?

On a vu, dans la description de la 38ᵉ expérience, que le *volume des sphéroïdes paraît être en raison inverse de leur poids spécifique*, d'où il suit que *leurs masses peuvent être égales entre elles.*

Ce point important de mon sujet demandait à être examiné de nouveau. Malheureusement, je n'ai pu, faute d'instruments et de temps, mettre la dernière main à cette étude. Néanmoins je crois les plus grandes difficultés aplanies et les résultats que j'ai obtenus assez curieux pour fixer au moins un instant l'attention des physiciens.

Je crois être maintenant à peu près certain que l'axe vertical des sphéroïdes a une longueur déterminée pour chaque corps, et invariable dans le même lieu, mais probablement variable avec la distance du centre du globe.

Mais le moyen de déterminer la longueur de cet axe? Toute la difficulté est là.

Si, comme je le suppose, l'axe vertical est invariable et représente le diamètre de la sphère inscrite dans le sphéroïde, il s'agirait tout simplement de chauffer une plaque métallique horizontale, d'y projeter la matière sur laquelle on veut expérimenter, en quantité suffisante pour obtenir un sphéroïde assez aplati pour qu'il n'y eût pas de doute que le maximum de l'axe vertical fût atteint; ensuite on mesurerait, au moyen d'une lunette disposée convenablement ou d'un cathétomètre, la distance de la plaque au sommet du sphéroïde, et cette distance représenterait très approximativement le diamètre de la sphère spéciale au corps en expérimentation. Ce diamètre une fois connu, on en déduirait facilement le volume et la masse.

Mais il y a une cause d'erreur qu'il est peut-être bon de ne pas négliger, c'est l'intervalle qui existe entre la plaque et le corps à l'état sphéroïdal, intervalle qui varie avec le poids spécifique du corps, et aussi avec la température de la plaque.

La détermination du volume, et, par suite, de la masse des corps à l'état sphéroïdal présente donc de sérieuses difficultés, mais j'espère en triompher, le temps et le travail aidant.

En attendant, voici le procédé que j'ai employé pour obtenir les mesures en question. Il est bien entendu que je les présente seulement comme des approximations.

Ce procédé est fondé sur ce fait : Lorsqu'on projette une goutte d'eau sur une surface plane et horizontale, chauffée à la température nécessaire, elle forme une sphère; si l'on ajoute une nouvelle quantité d'eau, la sphère s'aplatit et se transforme en sphéroïde. L'axe vertical ou petit axe est alors invariable (?), et il a à peu près $0^m,007$ de longueur, tandis que le diamètre horizontal ou grand axe peut s'allonger indéfiniment et proportionnellement à la quantité d'eau que l'on ajoute.

Mais, comme le sphéroïde est très mobile, on le maintient sur la plaque au moyen d'une virole d'argent, la plaque elle-même est mise de niveau au moyen de vis calantes.

Les choses étant ainsi disposées, on plonge au centre du sphé-

roïde un petit cylindre d'acier trempé ramené au bleu par le recuit et ensuite bien refroidi; on le retire immédiatement et, l'on mesure la hauteur de la partie mouillée avec un compas que l'on reporte sur une échelle divisée en millimètres.

Pour mesurer la longueur de l'axe vertical du mercure, je me suis servi d'une plaque de verre horizontale et d'un petit barreau d'étain.

Voici la longueur des axes verticaux des sphéroïdes de mercure, d'eau, d'alcool et d'éther, et le volume et la masse que l'on en déduit par le calcul :

NOM des SUBSTANCES.	LONGUEUR des AXES VERTIC. ou DIAMÈTRE des sphères.	VOLUME des SPHÈRES.	DENSITÉ des SUBSTANCES.	PRODUIT des VOLUMES multiplié par la densité.	POIDS OU MASSE des sphéroïdes rapporté à l'unité.
Mercure ...	mm. =3,0	14,1378	13,5	0,190	gr. 1,061
Eau.......	=7,0	179,6033	Unité.	0,179	1,000
Alcool.	=7,5	220,9042	0,838	0,185	1,033
Éther	=8,0	268,0960	0,712	0,190	1,061

La différence entre les masses est assez grande, mais cela peut tenir, d'une part, au moyen très grossier que j'ai employé pour mesurer les axes des sphéroïdes, et de l'autre, aux corrections qu'il y aurait à faire, eu égard à la température des trois derniers corps à l'état sphéroïdal; mais ces causes d'erreur ne sont pas suffisantes pour m'empêcher de conclure que la loi universelle de l'attraction ne soit applicable aux corps à l'état sphéroïdal. Je rappellerai ici les termes généraux de cette loi : *Tous les corps célestes s'attirent en raison directe des masses et en raison inverse du carré des distances.*

L'attraction de la terre, dans toutes les expériences décrites dans cet opuscule, est neutralisée par la force répulsive que la chaleur fait naître dans la matière, et cette attraction restant

constamment la même dans le même lieu, la masse des corps à l'état sphéroïdal doit rester constamment la même aussi, mais le volume des sphéroïdes doit varier avec leur poids spécifique ; et c'est, en effet, ce qui a lieu. Le volume du sphéroïde de mercure est le plus petit, et celui de l'éther le plus grand, et les volumes des quatre corps multipliés par leurs densités respectives donnent les mêmes produits à peu près.

Je le répète donc avec une entière confiance : *Les corps à l'état sphéroïdal obéissent aux lois de l'attraction, et ils peuvent être considérés par rapport à la terre comme de véritables satellites.*

Qu'arrive-t-il quand on verse une petite quantité d'eau sur une surface incandescente ou seulement chauffée à + 200° ? Il arrive, comme on l'a vu, qu'elle passe à l'état sphéroïdal, qu'elle forme une petite sphère suspendue, laissant un certain espace entre elle et la surface métallique. Alors la force attractive de la terre est neutralisée par la force répulsive de la surface incandescente, *les deux forces se font équilibre*. Mais, vient-on à augmenter la masse du sphéroïde, l'attraction du globe terrestre devient prépondérante, le corps à l'état sphéroïdal est plus fortement attiré, il s'aplatit et se transforme en sphéroïde qui se décompose souvent en d'autres formes qui se réduisent toutes à des ellipsoïdes plus ou moins nombreux, perpendiculaires les uns aux autres suivant un plan horizontal.

Il a été souvent question de forces répulsives dans cet ouvrage, et beaucoup de personnes ne sont pas disposées à admettre l'existence de ces forces ou de cette force ; tout est régi par l'attraction, disent-elles, et la répulsion est inconnue dans la nature. Ceci est une erreur. La répulsion est la conséquence nécessaire de l'attraction ; car « c'est une loi générale de la nature que la réaction » est égale et contraire à l'action. » (Laplace.)

Si je suis dans le vrai, la masse de nos satellites devra augmenter et leur température diminuer considérablement, quand on expérimentera dans les basses latitudes ; au contraire, dans les hautes latitudes, la masse des sphéroïdes devra diminuer et leur température s'élever.

Me sera-t-il réservé de résoudre ces intéressants problèmes ?

Qu'il me soit permis de l'espérer. N'est-il pas de toute justice que celui-là qui a eu le bonheur de faire quelques découvertes soit appelé à leur donner tous les développements qu'elles comportent? Il faut qu'on le sache bien: il ne s'agit point ici d'hypothèses indignes des hommes sérieux, mais bien de faits; et si parfois j'ai hasardé des vues théoriques, elles étaient toujours basées sur des expériences que tout le monde peut vérifier. Quel livre contient plus d'expériences nouvelles que celui-ci? S'il en est un, qu'on le cite et qu'on me l'oppose.

Berzelius, après avoir analysé mes premières expériences, termine ainsi le compte qu'il en a rendu : « Il est à désirer qu'on » poursuive ces recherches. » Un vœu émis par l'illustre savant de Stockholm peut-il n'être pas réalisé? (*Rapport annuel sur les progrès de la chimie*, 1845, p. 14.)

Mais je suis presque effrayé du nombre considérable d'expériences qui restent à faire et qui devraient être répétées sur les plus hautes montagnes de l'équateur et dans les mines les plus profondes des régions polaires. Il y a là, comme le dit Bressoń, de quoi remplir la vie de plusieurs physiciens.

Je ne terminerai pas ce chapitre sans poser une question qui fera sourire les uns et qui piquera vivement la curiosité des autres. La loi de Kepler sur l'égale description des aires dans des temps égaux est-elle applicable à la 61[e] expérience?

Maintenant qu'il est établi, je le crois du moins, que les corps à l'état sphéroïdal sont soumis aux lois de l'attraction, qu'ils ont des *propriétés* des corps célestes, on peut admettre avec beaucoup de vraisemblance que ceux-ci ont, de leur côté, des propriétés de ceux-là : c'est une chaîne sans fin au moyen de laquelle on peut monter des phénomènes terrestres aux phénomènes célestes, et redescendre de ceux-ci aux premiers. C'est ce que je vais essayer de faire dans le paragraphe qui va suivre, en exposant mes vues sur la *Cosmologie*; mais auparavant je vais donner la définition de l'état sphéroïdal, tel que je le conçois. Cette définition est basée sur les propriétés caractéristiques et fondamentales suivantes :

1° La forme arrondie que prend la matière sur une surface chauffée à une certaine température;

2° Le fait de la distance permanente qui existe entre le corps à l'état sphéroïdal et le corps sphéroïdalisant;

3° La propriété de réfléchir le calorique rayonnant;

4° La suspension de l'action chimique;

5° La fixité de la température des corps à l'état sphéroïdal.

Cela posé, voici la définition que je propose :

*Un corps projeté sur une surface chaude est à l'*ÉTAT SPHÉROÏDAL *quand il revêt la forme arrondie et qu'il se maintient sur cette surface au delà du rayon de sa sphère d'activité physique et chimique; alors il réfléchit le calorique rayonnant, et ses molécules sont, quant à la chaleur, dans un état d'équilibre stable, c'est-à-dire à une température invariable, ou qui ne varie que dans des limites très étroites, celle de la surface primitivement chaude pouvant s'élever indéfiniment.*

Cette définition, qui a le tort d'être un peu longue et de pécher en quelques points contre les règles, pourrait être condensée dans les quelques mots qui suivent :

*Un corps est à l'*ÉTAT SPHÉROÏDAL *quand sa température reste fixe sur une surface avec laquelle il n'a pas de contact, et dont la température peut être élevée indéfiniment;* et réciproquement, *tout corps dont la température reste fixe sur une surface avec laquelle il n'a pas de contact, et dont la température peut être élevée indéfiniment est à l'*ÉTAT SPHÉROÏDAL.

Si l'on place en regard de cette définition celle des *liquides* par Liebig, on reconnaîtra immédiatement les différences capitales qui existent entre ces deux ordres de corps. Voici la définition du célèbre chimiste de Giessen : « Les corps liquides prennent la » forme des vases qui les renferment; leurs molécules sont très » mobiles. Quand ils sont en repos, ils prennent une surface » horizontale (1). »

(1) Liebig, *Introduction à l'étude de la chimie*, p. 2.

§ VII. — Cosmologie (1).

« Les plus grandes vérités exigent
» toujours de longues années pour
» être admises dans les sciences. »

(H. BUIGNET, *Éloge de Bouillon Lagrange.*)

« Pense par toi-même, et ne juge
» de rien sur parole. »

(DESCARTES.)

Il faut être profondément convaincu comme je le suis, pour oser traiter un pareil sujet, et certes je ne l'aurais point entrepris s'il en pouvait résulter le plus petit inconvénient pour qui ou pour quoi que ce soit.

Il se peut cependant que je me trompe et que je me fasse illusion sur beaucoup de points du système que je vais esquisser; mais n'est-ce pas ainsi que marche l'esprit humain? Il va d'une erreur à une autre erreur, d'une supposition à une autre supposition, jusqu'à ce que les hypothèses soient d'accord avec les observations; mais les erreurs spéculatives n'entraînent pas du moins les conséquences funestes qui suivent les erreurs pratiques, surtout quand elles ne se recommandent pas par l'autorité d'un nom. Cela dit, j'entre en matière.

L'univers, a dit Newton, a été jeté d'un seul jet. Buffon trouvant sans doute à cette grande pensée la simplicité de la vérité, s'en empare et nous montre avec la pompe du style et la richesse d'expression que l'on retrouve dans ses ouvrages, toutes les planètes de notre système *tombant* du soleil, comme une immense cascade de matières embrasées.

Une comète, selon ce grand naturaliste, ayant frappé obliquement la masse du soleil, en a fait jaillir des flots de matières ignées qui, s'agglomérant et se répandant dans l'espace à des distances inégales, formèrent les planètes et leurs satellites. Les parties les plus denses donnèrent naissance aux planètes qui sont les plus rapprochées du soleil, et les parties les moins denses

(1) Cette partie de mon ouvrage a subi quelques changements dans la forme, mais le fond est resté le même que dans les éditions précédentes.

furent projetées aux limites de notre système planétaire, tandis que celles d'une densité moyenne demeurèrent entre celles-ci et celles-là.

Tel est, en abrégé, le système de Buffon sur la formation des planètes.

Aujourd'hui ce système n'a guère de partisans, et les principales objections qui lui ont été faites ne manquent pas de force. D'abord, on comprend difficilement qu'une comète, heurtant le soleil, puisse en sortir, retenue qu'elle serait par l'attraction puissante de cet astre, qui est telle, qu'un poids de 50 kil. à la surface de la terre pèserait 1500 kil. à la surface du soleil. Si donc une comète eût heurté le soleil dans sa course, il l'aurait absorbée. Mais on ne peut plus admettre qu'une comète ait pénétré dans le soleil, maintenant que nous connaissons LE POUVOIR RÉPULSIF DES SURFACES INCANDESCENTES. (Voyez les 28e et 62e expériences et le rapport de MM. Becquerel, Desprets et Babinet, p. 153 et suiv.) On ne peut plus admettre, dis-je qu'une comète ait pu pénétrer dans le soleil qu'elle aurait labouré pour en projeter les fragments dans l'espace. D'ailleurs, on croit savoir actuellement que les comètes n'ont presque pas de masse.

Toutefois le système de Buffon n'est point encore entièrement tombé. Le peu de partisans qui lui restent se fondent sur les mouvements de rotation et de translation des planètes qui ont lieu dans le même sens, d'occident en orient, et à peu près dans le même plan. Le soleil lui-même a un mouvement de rotation dans le même sens que les planètes, et, suivant les astronomes, il y a plus de quatre milliards à parier contre un que l'ensemble de tous ces mouvements dirigés dans le même sens ne saurait être l'effet du hasard. Ici, la pensée de Newton revient à l'esprit : l'univers a été jeté d'un seul jet. S'il n'en a point été ainsi, il est au moins excessivement probable que la formation successive des planètes est due à une seule et même cause ayant toujours eu le même mode d'agir.

Les partisans du système de Buffon se fondent encore sur l'instabilité des connaissances humaines, sur l'impossibilité, ou tout au moins l'extrême difficulté de distinguer la vérité de l'erreur.

Et sans reporter nos regards loin de nous, il nous sera facile de trouver un certain nombre de faits qui montrent combien le progrès est difficile, et combien est lente la marche de l'esprit humain.

Les théories physiques et chimiques ont rarement duré au delà d'un quart de siècle. La théorie électro-chimique de Berzelius, qui était si satisfaisante (et qui l'est encore ponr beaucoup de personnes), vient d'être attaquée avec vigueur par un de nos plus savants chimistes. N'a-t-il pas dit de cette théorie : « Il faut l'avouer, il n'en est rien? »

Le poids atomique du carbone, qui paraissait avoir été définitivement fixé, vient d'être changé par MM. Dumas et Stas, et il suit nécessairement des travaux de ces deux chimistes que toutes les formules dans lesquelles entre le carbone doivent être modifiées. On a admis jusqu'ici que le diamant était du carbone pur; mais il a été établi par MM Dumas et Regnault, que le diamant est composé de carbone et d'une espèce de réseau incombustible dont ils n'ont pas encore, que je sache, déterminé la nature.

L'urane, qui figurait au rang des corps simples, vient d'être décomposé par M. Péligot, qui a reconnu que ce corps est un composé d'oxygène et d'un métal auquel il a donné le nom d'uranium.

Mais je ne finirais pas, si je voulais citer toutes les erreurs qui ont passé pendant un certain temps pour des vérités. Il faut donc bien en convenir : ce que l'on sait n'est rien en comparaison de ce que l'on ne sait pas; et la distance qui sépare l'homme qui sait le plus de celui qui ne sait rien n'est pas aussi grande qu'on le croit généralement. Il devra donc s'écouler encore un grand nombre de siècles avant qu'une seule théorie puisse être établie sur des bases de quelque solidité. Est-ce à dire qu'il faut se borner à observer et à colliger des faits, toujours des faits sans jamais chercher à les coordonner? Non, certes. Ce serait pourtant la meilleure méthode, mais elle serait décourageante, et l'étude des sciences serait d'une aridité extrême. Il faut seulement se garder d'attacher aux théories plus d'importance qu'elles n'en ont, et ne

les considérer que comme un moyen de retenir sans fatigue un plus grand nombre de faits.

« Si l'homme s'était borné à recueillir des faits, les sciences ne seraient qu'une nomenclature stérile, et jamais il n'eût connu les grandes lois de la nature. C'est en comparant les faits entre eux, en saisissant leurs rapports, et en remontant ainsi à des phénomènes de plus en plus étendus, qu'il est enfin parvenu à reconnaître ces lois. » (De Laplace.)

De Laplace a proposé un autre système que celui de Buffon. Suivant cet illustre géomètre, le soleil formait comme une vaste nébuleuse qui comprenait tout notre système planétaire; ce qui revient à dire qu'une excessive chaleur étendait l'atmosphère du soleil au delà de l'orbe de Neptune, la plus éloignée des planètes connues, qui auraient été formées aux limites successives de cette atmosphère de feu par la condensation des zones de vapeur qu'elle aurait, en se refroidissant, abandonnées dans le plan de son équateur.

De deux choses l'une : ou le soleil avec son atmosphère était animé du mouvement de rotation qu'on lui a reconnu, ou il était fixe et dans un état complet de repos.

Dans le premier cas, pour que la formation d'une planète eût lieu aux dépens de l'atmosphère du soleil, il a fallu qu'un des points de cette atmosphère s'arrêtât, ou au moins que son mouvement se ralentît, pour donner à toutes les molécules destinées à la future planète le temps de rejoindre la molécule primitive; ou bien la molécule-*noyau*, continuant son mouvement, toutes les autres molécules durent être animées d'une vitesse toujours croissante pour *rattraper* le centre en question; ou bien encore le mouvement des unes dut être accéléré, comme je viens de le dire, celui des autres retardé. Dans tous les cas, comme il s'agit du mouvement des molécules d'une sphère creuse, ayant des parois d'une certaine épaisseur, on comprend que les mouvements de toutes ces molécules devaient être excessivement compliqués, chaque molécule ayant un espace et une route différents à parcourir.

Que par la pensée on fasse tourner une bombe autour d'un axe;

que l'on suppose toutes les particules qui la composent indépendantes les unes des autres et parfaitement mobiles, et se portant tout d'un coup, à un instant donné, sur une des molécules placées à la moitié de l'épaisseur de la paroi de la bombe, et l'on aura une idée assez exacte de ce qui s'est passé lors de la formation de chaque planète, d'après les vues de De Laplace.

Dans le cas où l'on supposerait le soleil absolument fixe, les difficultés seraient encore plus grandes. En effet, il faudrait supposer qu'à un moment donné toutes les molécules, moins une, se sont mises en mouvement pour se grouper autour de la molécule restée immobile.

Qu'on fixe la bombe qui avait tout à l'heure un mouvement de rotation, et l'on comprendra facilement ma pensée.

Mais ce n'est pas tout : les planètes formées, il a fallu qu'une nouvelle force vînt leur imprimer le double mouvement de rotation et de translation dont elles sont animées..... (1).

Tout cela est fort compliqué, mais n'est point impossible : rien n'est impossible à l'intelligence suprême qui créa l'univers et lui donna des lois.

(1) M. William Thomson a adressé à l'Académie des sciences, sous le titre de : *Sur les antécédents mécaniques du mouvement de la chaleur et de la lumière*, un remarquable travail dont *la Science* du 8 juin 1855 a publié quelques extraits. Nous lui empruntons ce qui suit :

....

« Il faut donc regarder le soleil comme la source d'où provient l'énergie mécanique de tous les mouvements et de la chaleur des créatures vivantes, et de tous les mouvements de la lumière et de la chaleur des feux et des flammes artificielles.

» Les mouvements naturels de l'air et de l'eau tirent sans doute en partie leur énergie de la lumière solaire, mais elle provient aussi partiellement du mouvement de rotation de la terre et des mouvements relatifs et des forces mutuelles qui s'exercent entre la terre, la lune et le soleil. Si nous en exceptons la chaleur qui dérive de la combustion du soufre natif et du fer météorique, toute espèce de mouvement (lumière et chaleur comprises) qui se produit naturellement ou qui peut être produite par l'action directrice de l'homme sur la terre, dérive son énergie mécanique, soit de la chaleur solaire, soit des mouvements et des forces qui entraînent les diverses parties du système solaire.

» Dans un mémoire récemment communiqué à la Société royale d'Édim-

D'après Poisson, la terre aurait été autrefois dans des régions beaucoup plus chaudes que celles qu'elle parcourt maintenant, et c'est ainsi qu'il explique l'accroissement de la température de la surface jusqu'à une certaine profondeur ; car il n'admet pas que cet accroissement ait lieu jusqu'au centre, et nous croyons qu'il a raison. « Le globe terrestre, dit-il, pourrait être comparé à un » corps d'un très grand volume, que l'on aurait transporté de » l'équateur vers le pôle, dans un temps trop court pour qu'il eût » pu se refroidir entièrement, et qui présenterait, en consé- » quence, un accroissement de température en s'éloignant de

bourg, l'auteur a fait voir que la chaleur solaire est probablement due à la friction qui se produit dans son atmosphère entre sa surface et un tourbillon de vapeurs entretenu extérieurement par l'évaporation de petites planètes dans une région avoisinante qui se trouve à une très haute température, et que ces planètes atteignent le soleil en suivant des lignes spirales pour tomber sur sa surface en torrents de pluie météorique, après avoir traversé l'atmosphère lumineuse de résistance très intense.

» Pour continuer ces recherches il faut se demander à quelle source les planètes, grandes et petites, prennent l'énergie mécanique de leurs mouvements. C'est là une question à laquelle les raisonnements mécaniques peuvent légitimement s'appliquer. Car nous savons que d'âge en âge l'énergie potentielle de la gravitation mutuelle de ces corps est graduellement dépensée, employée qu'elle est partiellement à accélérer les mouvements, partiellement à engendrer de la chaleur ; et nous pouvons tracer ce genre d'action dans le passé comme dans l'avenir : dans le passé, pour un million de millions d'années avec aussi peu de présomption que pour un seul jour dans l'avenir. Si nous le traçons pour les âges futurs, nous trouvons que la fin de ce monde, comme habitation pour l'homme ou pour toute créature vivante, animal ou plante, qui existe aujourd'hui, est *mécaniquement inévitable* ; et si nous le traçons dans le passé, d'après les lois de la matière et du mouvement observées dans toutes les actions naturelles qu'il nous a été permis d'observer, nous trouvons qu'il a dû y avoir un temps où la terre, sans soleil pour l'illuminer, les autres corps que nous connaissons à l'état de planètes et les autres masses planétaires innombrables que nous voyons aujourd'hui dans la lumière zodiacale, ont dû être infiniment éloignés les uns des autres et de tous les autres solides de l'espace.

....

» C'est en traçant dans le passé les mouvements que nous observons aujourd'hui, d'après les lois connues du mouvement et de la chaleur, sans limites relativement au temps, que l'auteur arrive à la conclusion que les corps qui composent actuellement notre système solaire ont été à des distances infiniment plus grandes dans l'espace qu'ils ne sont aujourd'hui. *Il remarque*

» sa surface, qui ne s'étendrait pas jusqu'à ses couches cen-» trales (1). »

Buffon et Laplace sont d'accord sur un point : ils font venir l'un et l'autre les planètes du soleil. Aujourd'hui tout le monde a la même opinion à cet égard, et, pour ce qui est de la terre en particulier, il n'est personne qui ne lui attribue une origine ignée. Or, quelle autre source ignée que le soleil dans notre système? Aucune. La plus complète unanimité règne donc sur cette origine qui n'exclut point une origine neptunienne secondaire.

Comme Buffon et Laplace, je fais venir les planètes du soleil, mais sans l'intervention d'une comète, ni d'un refroidissement subit de l'atmosphère du soleil, ni des mouvements moléculaires si compliqués que j'ai signalés.

Le système que je propose est fondé sur *le mouvement vibratoire de la matière à l'état sphéroïdal, et sur l'anéquilibre de chaleur des corps sous cet état*, c'est-à-dire sur des propriétés que nous connaissons, et sur cet axiome : *La partie possède les propriétés du tout* (2).

Mais avant d'exposer mes vues particulières sur la cause de la formation des planètes et de leurs satellites, je rappellerai quelques points d'astronomie généralement admis, et cela, dans le

que la théorie des nébuleuses, telle qu'on la donne ordinairement, en supposant comme elle le fait un état primitif gazeux, est fausse et tout le contraire de la vérité, d'après les vues qu'il met en avant : puisque celles-ci font voir que l'évaporation est la conséquence nécessaire de la chaleur engendrée par les collisions et la friction ; et que le passé et la tendance présente de la matière est la conglomération des solides et des liquides, accompagnée par une augmentation graduelle de la quantité de fluide gazeux évaporé dans l'espace. »

(1) Poisson, *Théorie mathématique de la chaleur*, p. 438.

(2) L'anéquilibre ou défaut d'équilibre de température doit s'entendre ici du contenant et du contenu, car les corps à l'état sphéroïdal sont constamment dans un état d'équilibre stable. Ainsi, l'écorce du globe est à une température x, tandis que le noyau incandescent est à une autre température $> x$. La première est variable ou dans un état d'équilibre instable ; la seconde serait fixe, c'est-à-dire, comme nous l'avons dit, dans un état d'équilibre stable.

Qui oserait dire que cet état d'équilibre stable n'est pas la condition *sine quâ non* de la vie actuelle à la surface de notre planète?

but de montrer que notre planète, malgré sa circonférence de quarante millions de mètres, n'est qu'un point microscopique dans l'espace.

Lorsque, par une belle nuit d'automne, on porte ses regards vers la voûte céleste, on la voit parsemée d'étoiles en nombre prodigieux. Ce nombre est-il connu ? Non, et il ne le sera jamais ; on suppose qu'il est infini. Le nombre d'étoiles déjà enregistrées dépasse le chiffre de vingt mille, et W. Herschell, en examinant certaines régions de la voie lactée, en a vu passer dans le champ de son télescope plus de cinquante mille dans une zone de deux degrés, pendant seulement une heure d'observation. Laplace admet qu'il peut exister dix milliards d'étoiles ; mais il eût pu porter ce nombre à cent milliards et à un million de milliards, qu'il serait encore resté au-dessous de la vérité : car on comprend aisément, par la pensée, qu'au delà des espaces accessibles à nos yeux ou à nos instrnments, il existe des espaces dix fois, cent fois..., un milliard de fois plus grands. Mais quand l'esprit s'élève à ces hauteurs désespérantes, il retombe comme foudroyé par l'incommensurable puissance de l'ordonnateur de l'univers, de cet univers si vaste, que l'imagination ne saurait le comprendre, et dans lequel pourtant l'ordre le plus parfait règne de toute éternité.

Les étoiles ont été classées d'après leur éclat ou leur grandeur apparente. L'intensité de la lumière de ces astres est très variable pour chacun d'eux, ainsi que l'on peut s'en convaincre au premier examen et sans le secours des instruments puissants des astronomes.

Parmi les astres qui sont toujours sur l'horizon de Paris, la *Chèvre*, ou A du Cocher, doit être placée au premier rang par l'éclat de sa lumière ; viennent ensuite six étoiles de la Grande Ourse, la Polaire, A de Persée, A du Cygne, B du Cocher, etc.

Plusieurs étoiles, groupées en nombre variable, suivant un certain ordre, très arbitraire, ont reçu, il faut le dire, des noms fort ridicules : c'est la Grande Ourse, la Petite Ourse, Persée et tant d'autres. Mais la Grande Ourse ne ressemble pas plus à une ourse que le libérateur d'Andromède ne ressemble à un héros :

ce sont les groupes d'étoiles ainsi nommés qui constituent les constellations.

Les astronomes ont divisé les constellations en australes, en zodiacales et en boréales ; les deux dernières classes seulement sont intéressantes pour nous, les constellations de la première classe étant presque toutes au-dessous de l'horizon de Paris.

Les constellations zodiacales sont : le *Bélier*, le *Taureau*, les *Gémeaux*, l'*Écrevisse* ou le *Cancer*, le *Lion*, la *Vierge*, la *Balance*, le *Scorpion*, le *Sagittaire*, le *Capricorne*, le *Verseau* et les *Poissons ;* en tout, douze constellations zodiacales.

Les plus remarquables et les plus utiles à connaître des constellations boréales sont : la *Grande Ourse*, la *Petite Ourse*, *Cassiopée*, le *Dragon*, *Pégase* et le *Bouvier*. J'en passe beaucoup d'autres sous silence, que l'on apprendra à connaître dans les traités d'astronomie d'Arago, de Francœur, d'Herschell, de Mutel, de Pontécoulant, de Plisson, etc.

On ne sait rien ou l'on ne sait que peu de chose sur la constitution physique des étoiles; mais les astronomes sont arrivés, par des méthodes savantes et qu'on dit infaillibles, à déterminer assez exactement la distance de celles qui sont les plus près de nous, et cette distance est telle qu'on ne peut s'en faire une idée que par la vitesse prodigieuse de la lumière.

La lumière parcourt 31,000 myriamètres par seconde, et l'étoile la plus voisine de la terre met plus de six ans et demi à nous envoyer sa lumière ; en d'autres termes, si l'on suppose par la pensée que Dieu anéantisse tout à coup cette étoile, nous la verrons encore pendant plus de six ans et demi. Ainsi, par un calcul fort simple, on trouve que l'étoile la plus rapprochée de la terre en est à plus de six trillions trois cent cinquante-quatre billions cinq cent quatre millions de myriamètres ! Mais Herschell va beaucoup plus loin : il admet que certaines nébuleuses ont dû mettre jusqu'à deux millions d'années pour nous transmettre la lumière dont elles brillent ! La distance de ces dernières est véritablement incalculable au moyen de l'arithmétique.

Le ciel semble tourner autour de la terre ; mais je me hâte de le dire, ce mouvement n'est qu'apparent, c'est la terre qui fait

un tour sur elle-même, dans l'espace de vingt-quatre heures, et nous fait voir successivement toutes les parties du ciel, et elle fait également une révolution autour du soleil dans l'espace de 365 jours et 6 heures environ.

S'il en était autrement, et si le ciel tournait réellement autour de la terre, l'étoile la moins éloignée parcourrait quatre cent cinquante millions de myriamètres par seconde, c'est-à-dire qu'elle ferait cent douze mille cinq cents fois le tour de la terre en une seconde, si sa révolution s'accomplissait à la surface du globe. C'est là une vitesse vraiment inimaginable.

On a vu plus haut que les étoiles ne brillaient pas toutes du même éclat; cela peut tenir à plusieurs causes. A distances égales, le volume de plusieurs étoiles peut être différent; il peut être le même, l'intensité de la *combustion* ou du mouvement vibratoire de la matière être plus grand dans celle-ci que dans celle-là.

Mais on admet généralement que la différence de l'intensité de la lumière des étoiles tient à leur éloignement plus grand pour celles qui brillent le moins, et moins grand pour celles qui brillent le plus.

Il paraît, d'après Herschell et d'après des expériences directes de Wollaston, que la lumière de Sirius, la plus belle étoile du ciel, est égale à celle de huit soleils. Si l'on suppose, ce qui paraît très rationnel, que l'intensité de la lumière soit proportionnelle au volume de l'astre, il en résultera que Sirius égalerait en grosseur *onze millions deux cent mille terres!* Peut-on nier après cela que la terre ne soit un point microscopique dans l'espace?

Indépendamment des étoiles fixes dont il vient d'être question, on aperçoit encore d'autres corps lumineux qui sont animés d'un mouvement de rotation et de translation comme la terre, ce sont les planètes, dont trois seulement sont facilement visibles à l'œil nu. Ces planètes sont : Jupiter, la plus grosse de toutes ; Mars et Vénus. Je ne parle pas de la lune, tout le monde l'a observée à toutes ses phases.

Maintenant changeons l'heure de nos observations ; recommençons-les à midi, par une belle journée d'été.

Le soleil seul frappe les regards; c'est lui qui est le centre de notre monde planétaire; c'est autour de cet astre resplendissant, vers lequel tout notre système gravite, que s'accomplit la révolution des planètes.

La distance moyenne du soleil à la terre est environ de quinze millions trois cent mille myriamètres. Un boulet de canon, qui parcourrait 840 mètres par seconde, et qui conserverait cette vitesse, mettrait près de six ans pour arriver au soleil.

Cet astre est un million quatre cent mille fois aussi gros que la terre, et son volume est tel que si l'on supposait que son centre coïncidât avec celui de notre planète, sa circonférence se trouverait à une distance presque double de celle de la lune à la terre.

La densité du soleil est le quart environ de celle du globe, et sa masse est égale à trois cent cinquante-quatre mille neuf cent trente-six terres.

J'emprunte à Herschell ce qui suit sur la constitution physique du soleil :

« Lorsqu'on l'examine avec de puissants télescopes garnis de » verres colorés pour garantir la vue de l'ardeur de ses rayons, » on observe fréquemment à sa surface de larges taches parfai- » tement obscures, entourées d'une sorte de bordure moins sombre, » appelée pénombre. Du reste, elles ne sont pas permanentes. » D'un jour à l'autre, ou même d'heure en heure, elles semblent » s'élargir ou se resserrer, changer de forme, puis disparaître » tout à fait, ou reparaître dans d'autres parties de la surface où » il n'y en avait point auparavant. En cas de disparition, l'obs- » curité centrale de la tache se resserre de plus en plus, et » s'évanouit avant les bords; il arrive encore qu'elles se séparent » en deux ou plusieurs taches. Toutes ces circonstances annon- » cent une mobilité extrême qui ne convient qu'à un fluide et à » un état violent d'agitation qui ne semble compatible qu'a- » vec l'état atmosphérique ou gazeux de la matière. L'échelle sur » laquelle ces mouvements s'accomplissent est immense. Une » seconde angulaire, pour l'observateur terrestre, correspond sur » le disque solaire à 170 lieues, et un cercle de ce diamètre (com- » prenant plus de 22,000 lieues carrées) est le moindre espace

» que nous puissions voir distinctement à la surface du disque.
» Or, on a observé des taches dont le diamètre surpassait
» 16,000 lieues; et même, si l'on doit ajouter foi à quelques
» témoignages, on en a vu qui étaient considérablement plus
» grandes. Pour que de semblables taches disparaissent en six
» semaines (et elles durent rarement plus longtemps) il faut que
» les bords, en se rapprochant, décrivent plus de 360 lieues par
» jour.

» Plusieurs autres circonstances tendent à confirmer les mêmes
» aperçus. La portion du disque solaire que les taches ne recou-
» vrent point est loin d'avoir un éclat uniforme. Le fond en semble
» parsemé d'une multitude de petits points obscurs ou pores,
» qui, examinés attentivement, se montrent dans un état perpé-
» tuel de changement. On ne peut mieux représenter ces
» apparences qu'en les comparant à l'aspect d'une précipitation
» chimique floconneuse, opérée avec lenteur dans un fluide
» transparent, et vue d'en haut. La ressemblance est si fidèle
» qu'elle ne peut manquer de faire naître l'idée d'un fluide lumi-
» neux qui se mêle, sans se confondre, avec une atmosphère
» transparente et non lumineuse; soit qu'il flotte à la manière
» des nuages dans notre atmosphère, soit qu'il forme de vastes
» traînées ou colonnes de flamme, analogues à celles de nos
» aurores boréales. »

L'hypothèse d'Herschell date de 1801, et Arago a prouvé depuis, par des expériences polariscopiques qui lui sont propres, que la partie lumineuse du soleil était gazeuse. J'ai prouvé par d'autres expériences (voy. le § IV de la première partie et le § III de cette troisième partie) que les corps à l'état sphéroïdal jouissent d'un pouvoir réflecteur absolu, qu'ils peuvent rester froids relativement dans un espace incandescent. Il suit de là que le soleil pourrait être habité et formé de trois sphères concentriques, ainsi que l'a supposé Herschell, ainsi que l'avait supposé avant lui le docteur Elliot (1).

(1) « Le docteur Elliot avait soutenu, dès l'année 1787, que la lumière » du soleil provenait de ce qu'il appelait *une aurore dense et universelle.* Il » pensait encore, avec d'anciens philosophes, que cet astre pouvait être habité.

La première serait gazeuze, c'est celle qui nous échauffe et nous éclaire; la seconde serait une sorte d'atmosphère très dense, *jouissant d'un pouvoir réflecteur absolu;* enfin la troisième serait solide ou fluide, c'est-à-dire à l'état de fusion ignée. Ce dernier cas est plus probable.

Ce qui vient d'être exposé sur la constitution physique du soleil est aujourd'hui généralement admis et reconnu comme parfaitement satisfaisant.

Mais jusqu'ici personne, que je sache, n'était parvenu à former un soleil de toutes pièces; grâce au hasard, grâce aux faits nouveaux que j'ai observés et aux nouvelles propriétés que j'ai reconnues à la matière, je suis parvenu à réaliser l'hypothèse d'Herschell. Voici comment :

On fait chauffer à blanc une sphère creuse de métal ou de porcelaine, percée d'un trou en un point quelconque de sa circonférence; on y verse 10 à 15 grammes d'acide sulfureux anhydre, et l'on introduit immédiatement dans la sphère deux thermomètres préparés d'avance. On plonge la boule de l'un dans le sphéroïde même d'acide sulfureux, et l'on maintient l'autre à quelques centimètres au-dessus. Celui-ci monte immédiatement à + 300°, et il se brise; *l'autre descend à 11 degrés au-dessous de zéro.*

Cette expérience peut se faire egalement avec de l'éther, de l'alcool, de l'eau, etc., avec cette différence, que le thermomètre plongé dans le sphéroïde indiquera une température proportionnelle à celle de l'ébullition de la substance que l'on aura choisie.

» Lorsque ce docteur fut traduit aux assises de Old Bailey pour avoir tué » miss Boydell, ses amis, le docteur Simmons entre autres, maintinrent qu'il » était FOU, et crurent le prouver surabondamment en montrant les écrits » où les opinions que nous venons de rapporter se trouvaient développées. Ces » *conceptions d'un fou* sont aujourd'hui presque généralement adoptées. » L'anecdote me paraît mériter de figurer dans l'histoire des sciences. Je » l'emprunte à l'article ASTRONOMIE, du docteur Brewster, inséré dans l'*Encyclopédie d'Edimbourg.* » (ARAGO.)

Je recommande cette note aux méditations des personnes qui liront mon ouvrage. Que d'enseignements elle renferme!

Elliot est né à Chard, en 1747; il ouvrit une pharmacie en 1777 et se fit recevoir docteur en 1780, et garda néanmoins son premier établissement.

Revenons à la sphère et au sphéroïde qu'elle contient.

N'est-ce pas là, je le demande, le soleil d'Herschell? Enveloppe brûlante et lumineuse, atmosphère préservant de la chaleur le noyau central, et enfin noyau central froid (1).

On m'objectera sans doute que le sphéroïde dont il s'agit ne peut pas toucher la surface incandescente, ainsi que je l'ai établi; que l'intervalle qui l'en sépare est très petit, et enfin qu'il n'occupe point le centre de la sphère, ainsi qu'on le voit dans le soleil.

Je réponds à cela, que si les choses se passaient autrement, la loi de Newton sur l'attraction ne serait pas vraie.

En effet, la sphère et le sphéroïde qu'elle contient sont soumis à l'action de la pesanteur terrestre, et le sphéroïde libre doit nécessairement occuper la partie inférieure de la sphère. Mais transportons le tout au centre du soleil, la résultante de toutes les forces qui solliciteront le sphéroïde, peu importe sa nature, le maintiendra invariablement au centre de cet astre (*voy. la* 17ᵉ *et la* 25ᵉ *expérience*).

Un peu plus loin nous verrons ce sphéroïde jouer un rôle important, mais hypothétique, dans la cause du mouvement de rotation diurne des planètes.

On se rappelle le volume énorme du soleil. Ce volume est si grand, que toutes les planètes et leurs satellites réunis feraient à peine la 650ᵉ partie de cet astre.

Ceci posé, n'est-il pas très logique d'admettre comme *lois générales* les phénomènes observés dans le soleil? Or, il résulte de toutes les observations qui ont été faites, que l'équilibre de chaleur n'existe pas dans cet astre; donc, l'équilibre de chaleur est une exception, et non une loi, comme on l'a admis jusqu'ici.

Si l'équilibre de chaleur était une loi de la nature, comme on

(1) Pour que l'analogie fût complète, il faudrait que l'enveloppe brûlante et lumineuse fût gazeuse, et il n'en est point ainsi; mais l'azotate d'ammoniaque à l'état sphéroïdal nous présente cette analogie de la manière la plus évidente. (Voy. le commencement de la deuxième partie jusqu'à la 73ᵉ expérience exclusivement.)

l'affirme depuis longtemps, cet équilibre ne se serait-il pas établi depuis des siècles entre toutes les couches de notre globe, qui ne date pas d'hier, comme on le sait? Cependant il n'en est point ainsi, et il résulte de bonnes observations et de calculs très positifs, que la température de la terre n'a pas varié de $\frac{1}{170}$ de degré depuis 2000 ans. Or, comment expliquer une pareille fixité de température, variable pour chaque couche du globe, et croissant de la circonférence vers le centre jusqu'au noyau à l'état de fusion ignée, et à ce point, que l'on ne suppose à l'écorce du globe que l'épaisseur de la 60e partie de son rayon, ou environ 10 myriamètres? Tandis que ce phénomène s'explique de lui-même, si l'on admet que l'équilibre de chaleur est l'exception et non la règle, au moins pour les corps planétaires.

Je l'ai déjà dit, mais je ne saurais trop le répéter, l'équilibre n'existe nulle part, ni dans le monde physique, ni dans le monde moral; il tend partout à s'établir, mais tout lui résiste. L'équilibre, ce serait la mort; non la mort telle que nous la concevons, mais la mort réelle, c'est-à-dire le repos absolu.

Ce défaut d'équilibre appliqué à notre planète est évident, car la superficie de son écorce a une température moyenne que tout le monde connaît, tandis que son noyau central aurait une température fort élevée, une température capable de fondre les corps les plus réfractaires. Mais ce noyau central ne peut être, selon nous, qu'une masse à l'état sphéroïdal dont la température serait dans un état d'équilibre stable.

S'il en était ainsi, la température moyenne devrait être désormais invariable, comme elle l'est depuis les temps historiques les plus reculés.

D'après M. Becquerel, le refroidissement de la terre serait tout au plus de 0°,0009 C. depuis 5000 ans, ce qui revient à dire que le refroidissement de notre planète n'est pas prouvé.

Il est vrai que 5000 ans ne doivent pas plus compter dans l'histoire d'une planète qu'une fraction de seconde, un peu plus grande que 0, dans l'histoire de l'homme.

Ceci admis, l'état sphéroïdal se classerait parmi les grandes lois, parmi les grands faits de la nature; ce serait l'état primor-

dial de la matière... et le titre un peu ambitieux que j'avais donné à ce livre, *Nouvelle branche de physique*, se trouverait ainsi pleinement justifié.

Je sens bien, du reste, qu'une pareille idée est une *énormité*, qui sera rejetée d'emblée, mais à laquelle on reviendra plus tard. Nous crions contre la routine, sans nous apercevoir que nous sommes nous-mêmes prodigieusement routiniers. L'esprit humain est ainsi fait. Toute idée qui sort du cercle ordinaire de ses idées est un rêve, une absurdité qui ne mérite pas qu'on s'y arrête un seul instant. Newton, qui passait à jnste titre pour le plus grand génie de son époque, eut toutes les peines du monde à faire adopter sa loi de l'attraction, qui lui suscita toute sorte de désagréments. A plus forte raison doit-il en être ainsi quand une idée nouvelle, quoique déduite d'expériences précises, est mise en circulation par un homme obscur, qui n'appartient pas aux corps privilégiés dont l'autorité est si grande en France. Mais j'ai l'espoir de voir triompher ces idées avec le temps: à cet égard, le passé répond de l'avenir.

Entre mille exemples que je pourrais citer pour prouver combien une idée neuve a de peine à se faire jour, en voici un qui a été rappelé par M. Flourens.

«..... Cet ouvrage manuscrit, dit M. Flourens, est de 1744, » et contient l'ensemble des recherches de Peyssonel sur les » corps marins, etc.; découverte qui a eu pour résultat de faire » passer toute nne classe d'êtres d'un règne dans un autre, et » qui, à l'époque où Peyssonel l'annonça, *parut si étonnante*, que » Réaumur, chargé de la communiquer à l'Académie, *crut de-* » *voir*, comme chacun sait, *ne pas nommer l'auteur*, *par ména-* » *gement.* »

Voici d'autres exemples qui montrent que les hommes, même les plus éminents, jugent quelquefois fort mal les choses nouvelles. Au XVIe siècle, Montaigne, l'illustre penseur que vous savez, disait: « Les armes à feu font si peu d'effet, sauf » l'étonnement des oreilles, à qui chacun est désormais appri- » voisé, que j'espère qu'on en quittera l'usage. »

Folard, un peu plus tard, demanda que l'on substituât les arcs

et les balistes aux fusils et aux canons. Que diraient Montaigne et Folard aujourd'hui..... ?

Je reprends la nomenclature des astres de notre système planétaire.

Dans l'édition précédente nous comptions onze planètes qui font leur révolution autour du soleil. Depuis cette époque M. Leverrier a découvert la planète Neptune, et d'autres observateurs ont découvert une *nichée* de planètes télescopiques, ce qui forme un total de..... planètes. Celles dont l'orbite est plus petite que celle de la terre sont dites *planètes inférieures*, et celles dont l'orbite enferme celle de la terre sont dites *planètes supérieures*.

Mercure, la planète la plus rapprochée du soleil, égale en grosseur à peu près $\frac{6}{100}$ de la terre ; Vénus, qui vient après par ordre de distance, égale à peu près la terre en grosseur. Ces deux planètes sont les seules planètes inférieures.

La terre a, en chiffres ronds, 4000 myriamètres de circonférence ; son rayon est de 636 myriamètres ; elle est 49 fois plus volumineuse que la lune, son satellite, lequel en est éloigné de 38,000 myriamètres.

Si l'on se représente la terre par un globe de 600 millimètres de diamètre, le pic de l'Himalaya, qui est la plus haute montagne connue et qui a 7,821 mètres de hauteur, n'y sera représenté que par une éminence d'un demi-millimètre de hauteur. Les montagnes de la lune sont proportionnellement beaucoup plus élevées que celles de la terre. Enfin, la mer couvre environ les trois cinquièmes du globe, qui est enveloppé d'une atmosphère composée d'azote, d'oxygène et d'acide carbonique.

Les planètes supérieures sont : Mars, dont le volume est d'un huitième de celui de la terre ; Jupiter, qui est 1300 fois plus gros que la terre ; Saturne 1000 fois, Neptune 230 fois et Uranus 80 fois.

On connaît encore d'autres planètes, dites ultra-zodiacales ou télescopiques. Ce sont : Pallas, dont le volume n'est pas connu ; Cérès, qui a 26 myriamètres de diamètre ; Junon, qui en a 11 ; Vesta, dont le volume est environ la 25,000e partie de la terre, et Astrée dont le volume est inconnu.

Jupiter est accompagné de quatre satellites; Saturne, d'un anneau et de sept satellites; enfin Uranus, qui se trouve à la limite de notre système, en a six.

Si l'on ajoute les comètes à la liste de ces planètes et de leurs satellites, on aura le catalogue de tous les corps célestes connus dans l'état actuel de l'astronomie.

En récapitulant tous les corps célestes que nous avons passés en revue et en les plaçant par ordre de volume on a :

Sirius égal à....................	11,200,000 terres.
Le soleil......................	1,400,000
Jupiter.......................	1,300
Saturne......................	1,000
Neptune	230
Uranus.......................	80
La terre	1
Vénus.........................	1
Mars..........................	$\frac{1}{8}$
Mercure.......................	$\frac{6}{100}$
Pallas........................	inconnu.
Cérès.........................	26 myr. de diam.
Junon.........................	11 —
Vesta.........................	$\frac{1}{35000}$ de la terre.
Astrée........................	inconnu (1).
Planètes de laboratoire	(grand axe, ou axe horizontal, environ......) 0m,01

L'idée de considérer les sphéroïdes décrits dans la première partie de cet opuscule comme des corps planétaires est tellement en dehors de l'opinion que l'on a de ces sortes de corps, que j'ai dû m'attacher d'abord à l'idée de grandeur. Et l'on doit comprendre à présent pourquoi j'ai commencé par Sirius, et pourquoi j'ai fini par les corps planétaires de notre création. N'est-il pas vrai qu'il y a moins loin, quant au volume, d'un sphéroïde d'éther à Vesta que de Vesta à Sirius, et même au soleil?

Allons plus loin encore dans nos comparaisons, et disons avec

(1) Les personnes qui voudraient connaître exactement tous les éléments de notre système planétaire les trouveraient dans un ouvrage très remarquable publié par le docteur Plisson, sous le titre de: *Les mondes*, ou *Essai philosophique sur les conditions d'existence des êtres organisés dans notre système planétaire*. 1 vol. in-12.

M. F. Moigno : « Quelque denses que soient les corps, *leurs » derniers atomes sont, relativement à leur grandeur, aussi éloi- » gnés l'un de l'autre que le sont les corps célestes dans l'espace.* » (Bulletin scientifique de la *Presse* du 29 janvier 1849.)

Nos sphéroïdes peuvent donc être considérés comme des corps planétaires quant au volume.

C'est ainsi que l'insecte, qui a besoin d'être grossi 1200 fois pour être aperçu, est un animal aussi parfait que le sont l'éléphant, le mammouth, la baleine et le poulpe colossal.

Maintenant que la raison ne se révoltera plus à l'idée de comparer à des planètes des corps sphériques d'un centimètre de diamètre, je vais dire comment je conçois la formation des planètes aux dépens du soleil.

Je considère la sphère centrale du soleil comme étant un corps à l'état sphéroïdal préservé de l'action de l'atmosphère incandescente par la propriété qu'il possède de réfléchir le calorique.

Le soleil tout entier a un mouvement de rotation sur son axe, et chacune de ses molécules est animée de ce même mouvement.

Indépendamment de ce mouvement, le soleil et chacune de ses molécules sont animés du mouvement vibratoire que l'on a observé dans toutes les expériences, notamment dans la 63e, et qui a été analysé dans le § V de cette troisième partie.

Cela posé, que faut-il pour que les planètes naissent du soleil? Une grande amplitude de vibrations, pour que la matière même du soleil soit projetée au delà de l'atmosphère incandescente ou extérieure.

L'impulsion que les parties de ce torrent reçoivent les unes des autres et l'attraction réciproque qu'elles exercent entre elles ne sauraient changer leur direction primitive, la partie ayant des propriétés du tout. Le soleil ayant un mouvement de rotation d'occident en orient, tout ce qui vient du soleil doit avoir un mouvement de rotation d'occident en orient, et de plus, un mouvement de translation dans la même direction. Ce dernier mouvement n'a pas encore été nettement reconnu dans le soleil (?), mais on peut supposer qu'il existe de son existence même dans les planètes et les satellites.

Les satellites sont aussi des fragments du soleil, mais lancés dans l'espace par la force explosive des planètes, ainsi qu'on le verra lorsqu'il s'agira de la terre.

La matière lancée par le soleil n'a pas pu y rentrer, l'incandescence répulsive s'y opposant invinciblement.

Voilà donc la matière incandescente lancée dans l'espace formant un sphéroïde, par suite de son mouvement de rotation, et décrivant autour du soleil une ellipse très allongée. La valeur du grand axe de cette ellipse a dû diminuer à chaque révolution pour atteindre à la petite excentricité actuelle des orbes planétaires.

Les choses ont-elles pu se passer ainsi ? Le retour de plus en plus rapproché de quelques comètes ne permet-il pas de résoudre affirmativement cette question ? L'apparition subite de quelques-uns de ces astres et la diminution de leur éclat ne sont-ils pas autant de présomptions favorables à l'hypothèse que j'émets ?

Je me servirai maintenant du mot *explosion* pour désigner le phénomène de projection de la matière du soleil.

Les explosions qui ont lieu dans le soleil *et dans les planètes*, par suite de l'amplitude de leurs mouvements vibratoires, peuvent se faire dans trois directions principales : 1° perpendiculairement à l'axe de rotation ; 2° obliquement, et 3° parallèlement à la direction de ce même axe.

Lorsque les explosions se font dans une direction voisine de la perpendiculaire, la force qui les occasionne se combine avec la force centrifuge (?), et la matière solaire peut être projetée en masses assez considérables et à des distances assez grandes pour former les planètes de notre système.

Au contraire, lorsque les explosions se font dans les deux autres directions, la force centrifuge (?) ne s'ajoutant pas à la première force, il s'ensuit que de petites masses seulement peuvent être projetées au delà des limites de l'atmosphère incandescente du soleil. Ces petites masses sont destinées à parcourir le ciel dans toutes les directions : ce sont les comètes (1), les bolides, les

(1) Clairaut pense que les comètes doivent être considérées comme de véritables planètes.

astéroïdes, etc., dont les orbes sont fort allongés et parfois fort irréguliers.

Les taches du soleil ne peuvent-elles pas être occasionnées par ces grands mouvements vibratoires dont je suppose l'existence dans cet astre?

Ainsi tout se réduit, dans notre système, à admettre que le soleil jouit des propriétés des corps à l'état sphéroïdal (1). Pourquoi non? Est-il donc si déraisonnable de supposer l'existence d'une seule force et d'une seule matière ! N'est-ce pas vers l'unité que tendent tous nos efforts?

« Les ellipses planétaires ne sont point inaltérables, mais leurs » grands axes *paraissent* toujours les mêmes.» (Laplace.)

Ainsi, le grand géomètre que je viens de citer n'affirme pas que les grands axes des ellipses planétaires sont toujours les mêmes; il doute, mais sur d'autres points il est très explicite.

Pour lui, les variations de l'excentricité de l'orbe terrestre et la position de son périgée; celle des éléments des orbes des planètes, et enfin la diminution successive de l'obliquité de l'écliptique ne sont pas douteuses. Il suit de là que notre système planétaire se transforme, lentement il est vrai; mais le temps ne compte pas dans la nature qui a pour elle l'éternité (2).

Les planètes, d'après le système très simple dont j'ai tracé les linéaments, auraient donc été primitivement des comètes, provenant des explosions du soleil qui se sont faites perpendiculairement à son axe; et ce système serait prouvé, si l'on connaissait une comète en voie de transformation, si l'on connaissait une orbite cométaire dont l'excentricité eût diminué.

La comète découverte par Tycho-Brahé, en 1585, serait la même, d'après quelques astronomes, que celle qui a paru successivement en 1678, 1743, 1770 et 1844.

(1) Voyez les expériences, 25, 27, 28, 35, 38, 58, 59, 61, 63 et 80, et le § V de cette troisième partie.

(2) « Ce temps qui nous manque ne manque point à la nature... Cet instant, » la vie humaine étendue même autant qu'elle peut l'être par l'histoire, n'est » qu'un point dans la durée, un seul fait dans l'histoire des faits de Dieu. »

(BUFFON.)

Il s'est écoulé entre	la 1re et la 2e	apparition	93	ans.
—	la 2e et la 3e	—	65	
—	la 3e et la 4e	—	27	
—	la 4e et la 5e	—	74	

Il y a une lacune entre la 4e et la 5e apparition. La comète découverte par Perny, en 1793, pourrait-elle être considérée comme étant la même? Alors il y aurait un intervalle de 23 ans seulement entre la 4e et la 5e période, et de nouvelles lacunes se reproduiraient de 1793 à 1844 (1).

D'après mes idées, le retour de cette comète à des époques de plus en plus rapprochées tiendrait à ce que l'espace parcouru va toujours en diminuant; mais, d'après les astronomes, ce phénomène aurait pour cause les perturbations occasionnées par les planètes en général, et par Jupiter en particulier.

Voici deux faits qui viennent à l'appui de ma manière de voir: C'est que les comètes, de l'aveu de tous les astronomes, ont perdu de leur éclat et qu'il en est qui ont disparu. Ne peut-on pas dire de ces dernières qu'elles se sont condensées et qu'elles sont devenues opaques, ce qui empêche qu'on ne les aperçoive de nouveau?

Elle serait encore appuyée par l'opinion d'Olbers sur les planètes télescopiques, qui seraient tout simplement des fragments d'*une ancienne planète qui aurait fait explosion.* Herschell ne partage pas l'opinion d'Olbers, qu'il considère comme un *rêve innocent ;* mais Arago paraît être favorable à cette opinion (2), et ce qui la corrobore puissamment, c'est ce fait étrange rapporté par Varron : « *On vit la planète de Vénus*, dit-il, *changer de diamètre, de couleur, de figure et de cours.* » Ce phénomène extraordinaire se serait accompli 1831 ans environ avant l'ère chrétienne (3). Quant à M. Babinet, il ne pense pas, « que l'on » doive adopter l'opinion ridicule qui fait de ces petites planètes

(1) Les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* pour l'année 1844 sont remplis de documents d'un grand intérêt sur les comètes. Ces travaux sont de MM. Arago, Faye, Leverrier, Laugier, Mauvais, Valz, etc., etc.

(2) Académie des sciences, séance du 26 janvier 1846, discussion sur les orbites des planètes télescopiques, à l'occasion de la découverte d'*Astrée*.

(3) *Dictionnaire historique, critique et bibliographique*, t. XXIX, p. 276.

» les débris d'une autre plus grande qui a volé en éclats. » (*La Science*, n° du 6 mai 1855.)

Suivant M. Valz, toutes les orbites des comètes périodiques actuelles pourraient avoir une origine planétaire.

La course vagabonde des comètes se conçoit bien dans mon système. En effet, les parcelles du soleil, projetées parallèlement à son axe, par exemple, sont animées de ce mouvement de projection et du mouvement de rotation dont le plan est perpendiculaire à l'axe de l'astre. Si le mouvement de projection s'écarte de 1, 2, 3, 4, 5...... 45° du parallélisme de l'axe, il en résulte des mouvements dans toutes les directions et de toutes les vitesses.

Voici ce que dit Herschell des comètes :

« Quelquefois les comètes ne sont visibles que peu de jours, et » d'autres fois on les aperçoit durant plusieurs mois ; quelques- » unes se meuvent avec une lenteur extrême, d'autres avec une » vitesse extraordinaire ; il arrive même assez fréquemment que » la même comète offre l'exemple des deux cas, dans diverses par- » ties de sa course. La comète de 1472 décrivit en un jour un arc » de 120°. Le mouvement des unes est direct, celui des autres » rétrograde ; d'autres ont une course tortueuse et tout à fait irré- » gulière ; elles ne sont pas confinées, comme les planètes, dans » certaines régions du ciel, mais le parcourent *indifféremment en* » *tous sens.* »

Ajoutons à cela le dédoublement bien observé, bien constaté, de plusieurs comètes, et la découverte, le même jour, en Europe et en Amérique, d'un nouveau satellite de Saturne (1848).

D'après mes idées, ce nouveau satellite aurait été découvert immédiatement après sa naissance, sa projection ; c'est-à-dire que Saturne serait encore agité par ces grands mouvements vibratoires dans lesquels la force centrifuge serait prédominante. Comment admettre, en effet, que Saturne, qui n'a pas cessé d'être observé depuis la découverte de son avant-dernier satellite, ait dérobé à tous les regards celui qui vient d'être reconnu tout récemment ? Il y a donc là un fait de plus qui vient à l'appui de notre hypothèse.

Les limites de cet ouvrage ne me permettent pas de pousser

plus loin l'examen de cette hypothèse sur l'origine des planètes et des autres corps célestes, moins les étoiles et le soleil; hypothèse dont la première esquisse a paru, en 1840, dans la première édition de ce livre. Je n'examinerai donc pas si elle est conforme ou contraire à la théorie des forces centrales, si un corps, décrivant une ellipse très allongée autour d'un autre corps, n'a pas de tendance à décrire une courbe moins excentrique et plus voisine du cercle, etc.

Ce que je me propose surtout dans cet opuscule, c'est d'appeler l'attention des jeunes géomètres et des jeunes astronomes sur des éléments dont il n'a jamais été tenu compte, à savoir : *la force répulsive des surfaces incandescentes, et les propriétés des corps à l'état sphéroïdal.* Je suis convaincu qu'une étude approfondie de cette force et de l'état sphéroïdal ne saurait être infructueuse. Puissent mes vœux être entendus de la génération de jeunes mathématiciens qui s'élève.

Quelques-uns seront sans doute étonnés de trouver Laplace favorable à nos vues. Voici, en effet, ce qu'on lit dans l'*Exposition du système du monde*, p. 251 : « Un projectile lancé avec force, » d'une grande hauteur, retombe au loin sur la terre, en décri- » vant une courbe parabolique; et si sa vitesse de projection était » d'environ 7000 mètres dans une seconde, et n'était point éteinte » par la résistance de l'atmosphère, il ne retomberait point et cir- » culerait comme un satellite autour de la terre, sa force centri- » fuge étant alors égale à sa pesanteur. Pour former la lune de ce » projectile, il ne faut que l'élever à la même hauteur de cet astre, » et lui donner le même mouvement de projection (1). »

(1) « Un boulet lancé par un canon va retomber sur la terre; si l'on » augmente la charge de la poudre, l'amplitude de la trajectoire augmentera, » et le boulet ira tomber plus loin. Or, on peut lui supposer une vitesse ini- » tiale telle que, faisant abstraction de la résistance de l'air, le boulet ne » retombera plus, et deviendra un satellite de la terre. *La lune est donc, dans* » *l'espace, un énorme boulet* éloigné de la terre de soixante rayons terrestres, » et que celle-ci force à chaque instant à changer de direction. » (Mutel, *Cosmographie*, p. 194.)

Si la lune peut être considérée comme un énorme boulet faisant sa révolution autour de la terre, les planètes peuvent être considérées comme d'énormes boulets faisant leurs révolutions autour du soleil.

Je terminerai ce paragraphe en faisant passer sous les yeux du lecteur les principales expériences desquelles j'ai déduit le système que je viens d'esquisser.

Quand on expérimente sur un corps quelconque, l'eau, par exemple, et que le corps sphéroïdalisant est une surface presque plane, voici ce que l'on observe dans quelques cas. D'abord c'est un sphéroïde aplati comme on le voit dans cette figure :



Fig. 19.

Puis, sans cause connue, ce sphéroïde tourne dans ce sens,



Fig. 20.

ensuite un mouvement vibratoire particulier se produit dans toute la masse; sa forme la plus simple est celle-ci, en apparence :

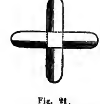


Fig. 21.

en réalité elle est formée de deux ellipsoïdes AB qui se succèdent rapidement et s'entrecroisent à angle droit, comme on le voit ci-dessous :

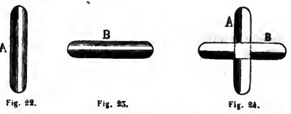


Fig. 22. Fig. 23. Fig. 24.

Dans certaines circonstances, toujours indépendantes de l'opé-

rateur, il se détache de petites masses de l'extrémité de l'ellipsoïde, comme on le voit ici :

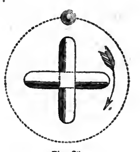


Fig. 25.

qui devient alors

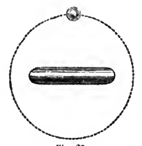


Fig. 26.

et plus tard ce qui suit,

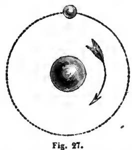


Fig. 27.

tout le système contiuuant à tourner dans le sens indiqué (*voyez les* 35e, 61e, 63e, 80e et 91e *expériences, et le fait rapporté par* Varron, p. 268) ; puis, le petit globule (le satellite) décrit une spirale, et rentre dans le sphéroïde. Ce dernier mouvement est évidemment dû à la concavité de la capsule, et peut-être un peu à l'attraction du sphéroïde.

Saturne et son anneau.

« Il est étonnant combien de choses sont devant nos yeux sans que nous les voyions. »
(DE FONTENELLE.)

Tout le monde connaît l'expérience si curieuse, et, en même temps si dangereuse, de M. Cagniard de Latour. Dans cette expérience, ce savant physicien a fait voir qu'à la température d'environ 350 degrés, l'eau se réduisait entièrement en vapeur dans un espace quadruple de celui de son volume; mais qu'en refroidissant un peu le tube qui la contenait, elle repassait subitement à l'état liquide.

Représentons-nous, actnellement que nous connaissons ce fait, Saturne à l'état d'incandescence et entouré d'une atmosphère d'eau en vapeur; admettons que par le refroidissement de la planète, ou par son éloignement du soleil, l'eau se soit liquéfiée subitement comme dans l'expérience de M. de Latour, et qu'elle se soit précipitée sur Saturne, en vertu de la pesanteur. On conçoit que son contact aura été impossible par suite de l'état d'incandescence de la planète, et elle en aura été repoussée, tout en restant dans sa sphère d'attraction (*voyez l'expérience* 35ᵉ); mais comme les molécules de l'eau sont très mobiles, elles ont dû être rejetées par la force centrifuge à l'équateur de la planète; puis, le froid agissant toujours, l'eau se sera solidifiée pour former les cercles connus sous le nom d'*anneau de Saturne*. On sait que le froid doit être très rigoureux dans l'espace parcouru par cette planète qui, en raison de sa masse, a dû se refroidir beaucoup plus lentement que le filet d'eau qui l'entourait.

Que l'on fasse chauffer à blanc un boulet, d'une part, et de l'autre, un disque de tôle ayant deux fois le diamètre du boulet, et offrant un espace central annulaire, au travers duquel le boulet peu passer librement; qu'on fixe le disque par un artifice quelconque dans le plan de l'équateur du boulet, et qu'on soumette tout le système à l'action refroidissante d'un même milieu, et l'on verra le disque ou l'anneau devenir noir, tandis que

le boulet sera encore incandescent : et c'est ainsi que l'eau a pu se congeler, quoique la planète pût encore être à une très haute température.

L'anneau est opaque, il est vrai ; mais on sait que l'eau qui se congèle, quand elle est agitée, est opaque et non transparente. Ainsi l'opacité de l'anneau n'empêcherait pas qu'il fût composé d'oxyde d'hydrogène, et l'opinion de Maupertuis ne serait point aussi absurde qu'elle pouvait le paraître au premier abord...

Cette hypothèse sur la formation et la nature de l'anneau de Saturne parut en 1840, dans la première édition de cet opuscule. Elle fut critiquée avec beaucoup de vivacité, et cela devait être.

Il était de mon devoir de tenir compte de la critique, et c'est ce que je fis. J'examinai donc de nouveau cette hypothèse, bien décidé à en faire le sacrifice, si l'on en proposait une autre qui satisfît mieux aux conditions du problème ; mais je reconnus bientôt que c'était du temps perdu, et que tout ce qu'on m'opposait se réduisait à ce peu de mots : On ne sait rien sur la constitution ni sur la formation de l'anneau de Saturne. Dès lors mon parti fut pris de persister dans l'opinion que j'avais émise, laquelle a l'incontestable mérite d'être basée sur des analogies et des faits de laboratoire faciles à vérifier.

J'en étais là de ma résolution, lorsque Faraday me communiqua les belles expériences de Plateau, professeur de physique à l'université de Gand (1).

Voici ce que je lis dans l'une des communications de ce physicien à l'Académie de Bruxelles :

« L'anneau que l'on obtient par la rotation d'une sphère » d'huile suspendue dans le mélange alcoolique *reporte naturel-* » *lement les idées sur l'anneau de Saturne.* De là on est conduit au » désir d'étendre plus loin l'espèce d'analogie qu'il y a entre eux, » et de chercher une modification telle de l'expérience, que l'on » obtienne en même temps l'anneau d'huile et une sphère du » même liquide isolée au centre de cet anneau. Or, l'auteur est

(1) Académie royale de Bruxelles, séance de janvier 1842, et t. IX, n° IV des *Bulletins*.

» parvenu à produire ce résultat en rendant beaucoup plus grande » la vitesse de rotation du petit appareil qui fait tourner la » sphère, et en faisant varier cette vitesse d'une certaine ma- » nière. Alors un anneau se détache, et une sphère demeure iso- » lée au milieu (1). »

Ainsi, je ne suis plus seul à m'élever d'un fait de laboratoire aux phénomènes célestes, et cette fois, je puis légitimement l'espérer, mon hypothèse sera accueillie avec moins de défaveur.

J'ajouterai que les opinions des chimistes tendent généralement aujourd'hui vers l'astronomie. On commence à comprendre que les propriétés des infiniment petits pourraient bien, après tout, ne pas différer des propriétés des infiniment grands. Un professeur de Tubingen n'a-t-il pas comparé à des atomes les innombrables soleils avec leurs planètes et leurs satellites? C'est dans ce sens que « l'univers présente un grand corps dont les » atomes, les corps célestes, sont indivisibles et invariables (2). »

« Ainsi, le jeu de cette puissance (l'attraction) sur la matière » inerte a créé tout ce monde infini d'êtres de mille sortes; il a » produit ces myriades d'individus qui accomplissent tant de » fonctions diverses, et dont les rapports sont si intimement liés » les uns avec les autres, qu'il est impossible d'avoir de chacun » d'eux une connaissance un peu complète sans lier l'histoire » d'un seul avec celle de tous (3). »

Nous entrons dans une voie qui pourra réaliser le *desideratum* de Napoléon, qui disait : « Les propriétés des infiniment grands » sont actuellement bien connues, mais il reste encore à con- » naître celles des infiniment petits. »

(1) Un ingénieur russe, auquel je faisais voir la belle expérience de Plateau, s'est écrié : « C'est merveilleux! Ce savant a véritablement mis le monde en bouteille! » Expression heureuse qui rend parfaitement l'impression que l'on éprouve en voyant pour la première fois cette expérience originale.

(2) Liebig, *Lettres sur la chimie*, p. 58.

(3) E. Rousseau, *Introduction à l'étude de la chimie*, p. 11.

La terre et son satellite (1).

« Qu'est-ce qui a été autrefois ? C'est ce qui doit » être à l'avenir. Qu'est-ce qui s'est fait ? C'est ce » qui se doit faire encore. »

(*Ecclésiaste*, chap. I. v. 9.)

« Ce qui a été est encore, ce qui doit être a déjà » été, et Dieu rappelle ce qui est passé. »

(*Id.*, chap. III, v. 15.)

« On peut se figurer, par la pensée, le spec- » tacle édifiant que présenterait la société hu- » maine le jour où elle serait bien et profondé- » ment convaincue qu'il peut être la veille de » sa complète destruction. »

(J.-B. FORT-MEU.)

Pour être logique, je devrais remonter à l'époque où je suppose, avec d'autres personnes, que la terre était à l'état cométaire. Mais cette discussion, qui m'obligerait à analyser tous les travaux des astronomes sur la nature, l'aspect, la périodicité, le mouvement, le dérangement, etc., des comètes, m'entraînerait loin de mon but, qui consiste à ne vouloir poser que les bases de travaux plus étendus sur ces matières, et me ferait dépasser les bornes assez étroites de ce livre. Qu'il me suffise donc de dire aujourd'hui que deux nouveaux éléments devront toujours être pris en considération dans tous les systèmes, dans toutes les théories physiques, et ces deux éléments sont : *la force répulsive des surfaces incandescentes*, et *les propriétés de la matière à l'état sphéroïdal.*

L'accord le plus parfait règne entre tous les savants sur l'état

(1) Dans cette partie de mon ouvrage, je poserai beaucoup plus de questions que je n'en résoudrai : c'est qu'ici encore j'ai surtout en vue d'appeler l'attention des géologues et des physiciens sur un fait probable dont il n'a point été tenu compte jusqu'à ce jour, je veux parler de l'état sphéroïdal, à la surface du globe, à une époque qui se perd véritablement dans la nuit des temps. Mais peut-être ce phénomène n'a-t-il jamais cessé d'influer sur la destinée de notre planète. Ne se pourrait-il pas, en effet, que divers corps fussent à l'état sphéroïdal à la surface du noyau incandescent dont nous ne sommes séparés que par une distance moyenne d'un soixantième du rayon terrestre ou 100 kilomètres ? Ne se pourrait-il pas encore que les vibrations de la masse en fusion entrassent pour beaucoup dans la mécanique terrestre ?...

d'incandescence de la terre, à une époque que les géologues font remonter à trois cent mille ans. Cela étant, il faut nécessairement admettre que la terre provient d'une source incandescente; or, je l'ai déjà dit, quelle autre source de chaleur ardente que le soleil dans notre système planétaire? Aucune. Il faut donc admettre encore que la terre est une fraction, une parcelle de cet astre; ou bien il faut supposer qu'elle provient des autres soleils qui se trouvent au delà de notre système planétaire, ce qui n'est point absolument impossible ; mais il y a plus de probabilité en faveur d'une origine solaire que d'une origine stellaire.

Mais ce qui a sans doute toujours empêché les physiciens d'admettre cette origine du globe, c'était la nécessité de faire intervenir un autre corps labourant la surface du soleil, pour en projeter des fractions dans l'espace. Aujourd'hui cette difficulté n'existe plus, si l'on admet que les sphéroïdes fluides peuvent, sans cause extérieure, faire explosion, et lancer au loin des parcelles de la matière dont ils sont formés, par suite de l'amplitude de leurs vibrations. (Voyez les deux premières parties de cet ouvrage, et le § V de celle-ci.)

Quand les géomètres étudieront ce phénomène en lui appliquant l'analyse, ils y trouveront la clef de tous les cataclysmes qui ont bouleversé notre planète ; ils y trouveront tout d'abord la cause ou l'une des causes des tremblements de terre, la seule qui n'oblige pas à recourir à des hypothèses, toutes plus savantes les unes que les autres, mais qui n'en sont pas moins de pures hypothèses sans base expérimentale.

En répétant nos expériences, ils verront que la profondeur des *vagues* des sphéroïdes dépasse le dixième de leur rayon ; or, en admettant que ce phénomène se produise sur la masse liquide qui compose la presque totalité de la terre, les vagues de cette mer incandescente pourraient atteindre une profondeur moyenne de 500 kilomètres! Qu'on juge de la puissance de telles vagues agissant de l'intérieur à l'extérieur sur l'écorce solide de notre planète.....

Cette idée, du reste, n'est pas nouvelle : le docteur Young, et après lui Gay-Lussac, comparent la propagation des tremble-

ments de terre à des ondes sonores (1); mais ils n'apportaient aucune preuve expérimentale à l'appui de cette hypothèse. Cette preuve, les corps à l'état sphéroïdal nous l'apportent aujourd'hui, car ils vibrent et font explosion spontanément (2).

Mais revenons à l'incandescence de la terre.

Au commencement donc, la terre était en fusion, et un grand nombre de substances, qui sont aujourd'hui à l'état liquide et même à l'état solide, faisaient alors partie de son atmosphère qui devait exercer sur le globe une énorme pression.

Cet état d'incandescence, qui dura longtemps, cela n'est pas douteux, diminua néanmoins de jour en jour. La terre, émettant plus de calorique qu'elle n'en recevait, se refroidissait de plus en plus; et la densité et la pression atmosphériques diminuaient également par le passage de l'état gazeux à l'état liquide, ou plutôt à l'état sphéroïdal de quelques-uns des éléments de l'atmosphère de ces temps primitifs. Il serait difficile de se faire une juste idée des actions, des réactions, des combinaisons et des décompositions qui s'effectuaient, on ne saurait en douter, au milieu de semblables éléments soumis sans cesse à la puissante action des forces naturelles, des forces attractive et répulsive.

Toutefois cet état de tourmente ne dura pas toujours. Le refroidissement ne se ralentissant pas, il se forma à la surface du globe une écorce solide qui servit plus tard de base aux terrains qui se formèrent au sein des eaux. Cette écorce solide constitue le terrain primitif des géologues. On n'y trouve aucune trace de végétaux, ni d'animaux, et cela se conçoit bien.

Tant que l'écorce de la terre conserva une température de beaucoup supérieure à celle de l'ébullition de l'eau, et elle dut la conserver longtemps, l'eau continua de faire partie de l'atmosphère; alors, « *l'esprit de Dieu était porté sur les eaux* (3)» (Genèse). Plus tard, et lorsque le globe fut assez refroidi, elle se

(1) *Annales de chimie*, vol. XXII, 1823, p. 429.

(2) M.-A. Poey a émis une opinion tout à fait analogue à celle-ci. (Voy. son *Tableau chronologique des tremblements de terre*, dans les *Nouvelles Annales des voyages*, décembre 1855.)

(3) La densité et l'hétérogénéité de l'atmosphère devaient être telles qu'il

précipita à sa surface, où de nouveaux phénomènes s'accomplirent sur une échelle d'une grande étendue.

Mais avant que ce phénomène important s'accomplît, une masse considérable de *matière* faisait partie de l'atmosphère et s'y trouvait conséquemment à l'état de *gaz* ou de *vapeur*.

Qu'est-ce que la matière? Quelle est sa constitution physique à l'état de gaz ou de vapeur?

On appelle matière tout ce qui a de l'étendue et de la pesanteur; il serait peut-être plus exact de dire tout ce qui a de l'étendue et qui est soumis à l'action de la pesanteur, car la pesanteur est une force; mais quels que soient les termes que l'on adopte, il est évident qu'étendue et pesanteur ne sont que des propriétés de la matière qui ne nous apprennent rien sur sa nature intime. Comme je n'aurais que de pures hypothèses à présenter sur ce point, je passerai immédiatement à la constitution physique de la matière à l'état de gaz ou de vapeur.

Orfila a proposé une autre définition de la matière que celle qui précède. La voici : « On donne le nom de corps à tout ce qui frappe un ou plusieurs de nos sens (1). »

Je ne décide pas laquelle de ces deux définitions est préférable. Toutefois je ferai remarquer que celle qui est donnée par Orfila a l'incontestable mérite de comprendre la nature entière, c'est-à-dire les corps matériels proprement dits et les dynamides; tandis que ces derniers sont exclus de la première définition.

L'extrême mobilité des molécules gazeuzes a fait supposer dans tous les temps qu'elles étaient sphériques, et de nombreuses observations ont en quelque sorte sanctionné cette manière de voir.

Je suppose donc, pour l'intelligence de ce qui va suivre, que

était impossible que la lumière du soleil (l'esprit de Dieu?) pénétrât jusqu'à la surface du globe; elle s'arrêtait donc à la limite extérieure de l'atmosphère, absorbée, réfractée ou réfléchie de mille manières, et c'est ainsi que « *l'esprit de Dieu était porté sur les eaux* », qui étaient alors à l'état de vapeurs dans l'atmosphère.

(1) Orfila, *Éléments de chimie*, 6ᵉ édition, t. I, p. 1.

les molécules des gaz sont sphériques et creuses, c'est-à-dire vides de matière pondérable ou plutôt impondérée.

On avait cru pendant longtemps que le coefficient de dilatation des gaz était le même pour tous, et que tous étaient soumis à la loi de Mariotte. Mais ces deux lois importantes de la physique des gaz ont été modifiées par M. Regnault, et il est maintenant admis que chaque gaz a un coefficient particulier de dilatation, et que la loi de Mariotte ne leur est point absolument applicable. En d'autres termes, et pour tout dire en un mot, la loi du coefficient de dilatation et celle de Mariotte ne seraient pas vraies. Toutefois, il faut le reconnaître, les différences signalées par l'illustre physicien que je viens de citer n'ont lieu que dans des limites assez étroites, et « il est sans doute encore permis de » dire, comme on l'a fait jusqu'à présent, que les gaz et les va- » peurs ont le même coefficient de dilatation. » (Pouillet.)

On admet généralement que les molécules des gaz *ne se touchent pas*, et que, lorsqu'elle se dilatent par la chaleur, ce sont seulement les espaces intermoléculaires qui s'agrandissent, et que les molécules proprement dites ne subissent aucune augmentation de volume. Quand on les comprime, c'est l'effet inverse qui se produit.

Je ne saurais admettre que les intervalles moléculaires se dilatent seuls, mais j'admets qu'ils se dilatent en même temps que les molécules mêmes.

Il faut donc ajouter que la molécule gazeuse se dilate en même temps que les intervalles moléculaires. Alors on se représentera, je le crois du moins, ce qui se passe réellement, et l'on comprendra facilement dès lors que chaque gaz ait un coefficient particulier de dilatation, qui pourrait être proportionnel à son poids spécifique. En effet, une sphère creuse, dont la paroi a une épaisseur égale à 2, pourra se dilater plus qu'une autre sphère dont la paroi n'aurait qu'une épaisseur égale à 1, ayant l'une et l'autre la même surface extérieure.

Je suppose donc que les molécules des gaz et des vapeurs ont toutes le même volume, et qu'elles diffèrent seulement par l'épaisseur de leur paroi. Mais, dira-t-on, que se trouve-t-il dans ces petites sphères et dans leurs intervalles? A cela je réponds que

l'éther est partout, et qu'on doit l'admettre ici comme ailleurs, puisque c'est une partie du tout. C'est donc l'éther qui remplit les intervalles moléculaires et les molécules elles-mêmes (1).

Si l'on se rappelle que tous les corps se comportent de la même manière en présence des surfaces incandescentes, ne sera-t-on pas autorisé à en inférer, avec quelques astronomes, que la matière est homogène ?

Ici l'hypothèse si simple et si philosophique du docteur Prout revient à la pensée : La matière est une, et tous les poids atomiques sont des multiples de celui de l'hydrogène.

Cette hypothèse a été formulée par l'antiquité, qui posa les bases de la théorie atomique, en disant : *Dieu a tout fait avec mesure, nombre et poids* (2).

Dans la première édition de cet opuscule, j'avais dit, page 50 : « De l'état sphéroïdal des corps n'est-il pas très logique de conclure » que les atomes des liquides et des gaz sont sphériques, et que » c'est de cette forme que naît l'affinité chimique, qui pourrait » bien n'être elle-même que la *pénétrabilité des atomes ?* »

Eh bien ! des travaux récents, dus à F. Selmi (3), à Schweitser (4), à Brame (5), et à Millon (6), quoique ne se reliant pas directement à mes recherches, sont venus prêter leur appui à mes vues, et montrer que la forme *sphérique* ou utriculaire précède toujours l'état cristallin ou anguleux (7). Cette généralité de la forme primordiale sphérique est un fait de plus qui relie la matière inorganique à la matière organique (8).

(1) Voyez la note de la page 231.

(2) Berzelius, *Traité de chimie*, t. IV, p. 523.

(3) *Atti della sesta riunione degli scienzati italiani.* Milano, 1845, p. 159 et suivantes.

(4) *Journal de pharmacie*, 1844, p. 120.

(5) *Compte rendu de l'Académie des sciences* du 27 octobre 1845.

(6) *Annales de chimie*, 3e série, t. XIII, p. 386.

(7) Voyez page 215, ce qui est relatif à la cristallisation du soufre ; voyez aussi le *Système de chimie organique* de Raspail. Cet observateur établit que le résidu de la calcination du ligneux, en vases clos, est formé de charbon qui, broyé et examiné au microscope, offre des globules noirs et opaques que l'on reconnaît être *sphériques*.

(8) Voyez un Mémoire de M. Chevreul, qui a pour titre : *Considérations*

Voici le passage dans lequel Millon parle de la pénétrabilité de la matière : « Pour représenter, autant qu'on peut le faire par » des mots, cette spécialité du carbone, on peut dire que dans » les combinaisons minérales, les éléments sont juxtaposés, tandis » qu'ils se *pénètrent* dans les combinaisons organiques. »

Voici, du reste, ce que j'entends par pénétrabilité. Les molécules des gaz étant sphériques et creuses, lorsque deux molécules se pénètrent, c'est-à-dire que l'une passe dans l'autre, le volume de la molécule absorbante n'a pas changé, mais l'épaisseur de la paroi a été augmentée de toute la matière de la molécule absorbée. Alors son poids atomique et sa densité se sont élevés dans la même proportion, et ainsi des autres proprietés physiques.

Existe-t-il quelques faits bien établis qui prêtent leur appui à cette hypothése sur la forme des gaz élémentaires ? Oui.

Les bulles de savon, selon Newton, ne sont que de minces lames d'eau ayant $\frac{1}{10000}$ de millimètre d'épaisseur, et pouvant se réduire à $\frac{1}{1000000}$. Si elles n'avaient que $\frac{1}{10000000}$, elles ne pourraient être aperçues par aucun moyen, lors même qu'elles auraient un pied de diamètre (1).

Ainsi, nous voyons déjà qu'il peut exister des gaz tout à fait incolores. C'est un premier pas de fait vers la confirmation de mon hypothèse. Mais ce n'est point assez : il faudrait qu'un certain nombre de gaz ou vapeurs élémentaires fussent inscrits à la suite l'un de l'autre et se suivissent constamment dans leurs rapports avec :

1° L'électricité,
2° Le poids atomique,
3° Le poids spécifique,
4° La couleur,
5° La résistance qu'ils opposent à la liquéfaction,
6° La température à laquelle ils se liquéfient,
7° Celle à laquelle ils entrent en ébullition.

Or, si l'on prend les cinq corps élémentaires qui suivent, on trouvera la série de rapports qui précèdent :

générales et inductions relatives à la matière des êtres vivants (*Journal de pharmacie*, t. V, p. 29).

(1) Pouillet, *Éléments de physique*,, t. I, p. 20.

Hydrogène,
Azote,
Chlore,
Brôme,
Iode.

1° Ces cinq corps sont inscrits dans l'ordre qui précède, relativement à leurs propriétés électro-chimiques (1).

2° Leurs poids spécifiques sont :

H..... = 0,0692
Az.... = 0,9720
Ch.... = 2,4400
Br.... = 5,3933
I..... = 8,7160 (2).

3° Leurs poids atomiques sont :

H.... = 1
Az.... = 14
Ch ... = 36
Br.... = 80
I..... = 127

4° **Leurs couleurs sont :**

H.... Incolore.
Az... Presque incolore.
Ch... Jaune verdâtre.
Br ... Rutilant.
I..... Violet très intense.

5° Les deux premiers n'ont jamais été liquéfiés; le troisiém peut l'être facilement; le quatrième et le cinquième, sous la pression normale de l'atmosphère, sont : l'un toujours liquide, et le dernier toujours solide.

6° Le même rapport se présente relativement à la température à laquelle ces cinq corps se liquéfient. Le premier n'a point encore été liquéfié, encore bien qu'il ait été soumis par Faraday à l'action des plus basses températures qu'il ait pu produire, et le dernier est solide même à la température de notre climat de Paris.

7° Le point d'ébullition de l'hydrogène est inconnu, mais on

(1) Berzelius, *Traité de chimie*, t. I, p. 12

(2) Pour Br et I, il s'agit de leurs vapeurs.

peut le supposer inférieur à celui de l'azote, également inconnu. On ignore également le point d'ébullition du chlore liquide, on sait seulement qu'il est au-dessous de 0°. Le brôme bout à + 63° d'après M. Pierre, et l'iode entre en ébullition à + 180°.

Assurément on doit voir dans ces rapports remarquables autre chose qu'un simple jeu de la nature et qu'un pur effet du hasard (1).

Pour rendre palpable l'opinion que je viens d'émettre sur la constitution physique des atomes, comparons les cinq corps élémentaires que j'ai choisis à cinq sphères creuses de caoutchouc du même diamètre extérieur, mais ayant :

La 1re...	1mm	d'épaisseur.
La 2e ...	14	—
La 3e ...	36	—
La 4e....	80	—
La 5e....	127	—

Il est évident que la première de ces sphères se réduira par la pression à un moindre volume que la deuxième, celle-ci que la troisième, la troisième que la quatrième, et la quatrième que la dernière. Il n'est pas moins évident que la cinquième sera devenue imcompressible ou *liquide* avant la quatrième, et que la première sera encore gazeuse ou *creuse* quand la deuxième sera devenue incompressible. Il est encore évident qu'une force suffisante pour détruire le vide de la plus épaisse des sphères sera trop faible pour les autres. Rendons ceci sensible par une expérience. Plaçons nos cinq sphères entre deux plans, dont l'un est mobile

(1) Voici un autre rapport qui me semble assez curieux pour trouver sa place ici. On sait que toutes les substances organiques sont formées d'oxygène, d'azote, de carbone et d'hydrogène, et que les poids atomiques de ces corps sont :

$$\begin{array}{l} O = 8 \\ Az = 7 \times 2 \\ C = 6 \\ H = 1 \\ \hline \quad 22 \end{array}$$

Or, ce total est précisément le rapport de la circonférence du cercle à son diamètre, adopté par Archimède.

Ce rapport singulier rappelle naturellement à l'esprit cette définition si simple de la Divinité : « C'est un cercle dont le centre est partout et la cir» conférence nulle part. »

et pouvant s'abaisser à volonté au moyen de vis de pression; comprimons nos sphères en abaissant le plan mobile jusqu'à ce que le vide de la sphère la plus épaisse soit détruit, et examinons les quatre autres sphères. Leur capacité sera diminuée, mais celle de la première sera la plus grande; puis viendront la deuxième, la troisième et la quatrième.

Dans la première édition de cet ouvrage, *imprimée en* 1841, guidé par les vues que je viens d'exposer brièvement, j'avais dit que si l'on n'avait pas encore liquéfié tous les gaz, c'était parce qu'on n'en avait pas comprimé d'assez grandes masses à la fois, et j'avais ajouté que *l'hydrogène serait le dernier gaz qui serait liquéfié*, et sur ce point encore mes prévisions se sont confirmées. J'avais fait plus, j'avais décrit un appareil qui devait, ce me semblait, être propre à la liquéfaction de tous les gaz.

Cet appareil consistait en quatre corps de pompe qui étaient entre eux : 1 :: 10. Le plus grand était de la capacité de 1000 litres, le plus petit de celle d'un litre. Ces quatre cylindres devaient communiquer entre eux et leur solidité être en raison inverse de leur capacité. Enfin, je me proposais de faire agir en même temps et concurremment le froid et la pression. Tel était l'état de cette question au moment où Thilorier fut enlevé aux sciences qu'il enrichissait de ses travaux.

Il s'est trouvé parmi les appareils qui existaient dans son cabinet un appareil construit précisément d'après les données qui précèdent, et postérieurement à la publication de la première édition de cet ouvrage.

Thilorier a-t-il connu mon livre? Ou bien, guidé par les mêmes analogies que moi, a-t-il pu concevoir le même appareil? Que l'on choisisse entre ces suppositions, elles confirment, l'une et l'autre, ma manière de voir. Cela prouve une fois de plus que les vues théoriques, quand elles sont basées sur des faits, ne sont pas toujours à dédaigner.

L'appareil de Thilorier est chez M. Lepage, qui a eu l'obligeance de me le communiquer (1). Je ne doute pas que l'on ne par-

(1) C'est de l'armurier si justement célèbre qu'il s'agit ici, et non de l'habile chimiste de Gisors.

vienne tout d'un coup à liquéfier même l'hydrogène au moyen de cet appareil.

Ces expériences seraient fort périlleuses, sans doute : on devrait craindre de dangereuses explosions, malgré le luxe de précautions dont on pourrait s'entourer ; mais une pareille considération n'arrêterait point assurément les expérimentateurs. On sait malheureusement que le cabinet d'un physicien et le laboratoire d'un chimiste sont des arènes où l'on peut recevoir une mort tout aussi glorieuse que celle qui nous saisit au milieu des combats.

Je reviens à mon hypothèse sur la constitution physique des gaz. Cette hypothèse explique comment certains corps doués de propriétés chimiques très énergiques deviennent latents dans certaines combinaisons : tels sont, entre autres, le chlore dans le chlorure d'éthyle, et le soufre dans la laine.

N'est-il pas vrai (que l'on me pardonne cette comparaison) qu'un atome d'iode placé au centre d'un atome d'étain serait insoluble dans l'alcool, et que ses propriétés seraient complètement masquées ? N'est-il pas également vrai qu'un globule de gomme placé au centre d'un globule de résine serait insoluble dans l'eau ?

La pénétrabilité ou affinité dont il s'agit a eu lieu à l'époque de la *génération* de la matière telle que nous la connaissons aujourd'hui, et cela en vertu de forces qui nous seront sans doute à jamais inconnues, ces forces ayant depuis longtemps cessé d'agir sur la terre. En effet, il est généralement admis que rien ne se crée plus maintenant, et que tous les phénomènes qui s'accomplissent sous nos yeux sont dus à des métamorphoses incessantes. « *Les éléments changent d'ordre entre eux, sans perdre néanmoins* » *cette harmonie qui leur est propre, comme dans un instrument de* » *musique l'air se diversifie par le changement des tons* (1). »

Cette pénétrabilité ou affinité primordiale s'exerçait entre des molécules rudimentaires d'un poids spécifique 10 fois, 100 fois, 1000 fois moindre sans doute que celui de l'hydrogène. L'*ozone* de Schönbein, qui n'a point encore été isolé, jettera peut-être

(1) *La Sagesse*, chap. XIX, v. 17.

un jour inattendu sur cette question. Peut-être cette singulière substance prendra-t-elle place entre l'hydrogène et l'*éther*, que je considère avec Ampère, Mossoti, Faraday (1), etc., comme étant l'origine de la matière, son atome primordial. D'après cela, l'ozone, qui n'a pas encore été coercé, qui n'est pas encore tangible, prendrait place avant l'hydrogène, et le poids atomique de celui-ci serait uu multiple de celui de l'ozone, comme celui de l'ozone serait un multiple de l'atome d'éther (2).

J'ai d'autant plus de confiance dans cette manière d'envisager la formation de la matière que Musschenbroeck regarde comme démontrées, même expérimentalement, les deux propositions suivantes : « 1° Quelque grand que soit le volume d'un corps, les vides compris entre ses molécnles ou atomes sont assez étendus pour qu'on puisse concevoir que le corps, sans rien perdre de sa substance, puisse être réduit à un volnme infiniment petit, à celui du plus petit grain de sable ou du plus petit atome de poussière visible.

» 2° Dans le plus petit grain de sable, dans le plus petit atome de poussière visible, il y a assez de parties separables ou séparées pour qu'on puisse en former un globe aussi grand que l'on voudra, et dans lequel deux atomes voisins seront placés à une distance plus petite que toute longueur assignable (3). »

Mais une antre pénétrabilité caractérise encore la matière : c'est la pénétrabilité ou affinité chimique. C'est ainsi qu'une molécule de chlore et une molécule d'hydrogène forment, en se dédoublant respectivement, deux molécules d'acide chlorhydrique, une molécule d'azote et une molécule d'oxygène, deux molécules

(1) Peltier, *Essai sur la coordination des causes qui précèdent, produisent et accompagnent les phénomènes électriques*, p. 13.

(2) Des travaux plus récents de MM. E. Becquerel, Fremy, Houzeau, De Larive, Marignac, F. Moigno, Phipson, etc., établissent que l'ozone n'est que de l'oxygène électrisé par la perte d'un des fluides qui composent son électricité neutre. D'après cela, l'oxygène serait, dans certains cas, électro-négatif, dans d'autres circonstances il serait électro-positif..... C'est un sujet qui exercera longtemps encore la sagacité des chimistes et des physiciens.

Selon M. Phipson, « *toutes les fois que l'oxygène réagit sur un corps or- » ganique, ce gaz est à l'état d'ozone.* » (Voyez *Cosmos*, 18° livraison, 7 novembre 1856, et *la Science*, n° 89, 9 novembre 1856.)

(3) F. Moigno, Bulletin scientifique de *la Presse* du 29 janvier 1849.

de bioxyde d'azote, une molécule d'oxygène et deux molécules d'hydrogène, deux molécules d'eau. Cette espèce d'endosmose a-t-elle lieu de l'oxygène à l'hydrogène ou de l'hydrogène à l'oxygène? Voilà ce que nous ne savons point.

Mais il est permis de conjecturer que c'est l'hydrogène, corps électro-positif; qui enveloppe ou circonscrit l'oxygène, corps électro-négatif. Voici pourquoi. On sait que les métaux, même l'arsenic, sont sans action sur l'économie animale; mais que, combinés avec certains corps électro-négatifs, il en est qui sont doués de propriétés très actives, et d'autant plus que l'élément électro-négatif entre en plus grande proportion dans la combinaison (1).

(1) Voici sur l'influence du nombre des atomes E —, l'extrait d'une note que j'ai publiée, en 1836 dans divers journaux :

. . . .

« Il existe une autre relation, non pas seulement entre les combinaisons de l'oxygène, mais entre presque toutes les combinaisons, c'est l'augmentation de leur énergie sur l'économie animale, en raison directe du nombre d'atomes de l'élément électro-négatif.

» Le tableau suivant me fera facilement comprendre.

Corps dont les propriétés sont peu actives, comparativement à celles ceux qui suivent.	*Corps dont les propriétés sont très actives comparativement à celles de ceux qui précèdent.*
Acétate cuivreux.	Acétate cuivrique.
Acide antimonieux.	Acide atimoniqne.
— arsénieux.	— arsénique.
— azoteux.	— azotique.
— sulfureux.	— sulfurique.
Poudre d'Algaroth.	Beurre d'antimoine.
Chlorure mercureux.	Chlornre mercurique.
Eau.	Eau oxygénée.
Iodure mercureux.	Iodure mercuriqne.
Azotate mercureux.	Azotate mercuriqne.
— hismuthenx.	— bismutbique.
Oxyde mercureux.	Oxyde mercurique.
— azoteux.	— azotique.

» Dans la première colonne, on trouve une combinaison dont l'indifférence est parfaite et l'innocuité absolue : c'est l'eau. Viennent ensuite, suivant leur ordre d'action sur l'économie animale, l'azotate bismutheux, l'oxyde mercureux, l'acide antimonieux, le chlorure mercureux, etc.; l'acide arsénieux termine cette série : c'est un poison.

» Dans la deuxième colonne, la combinaison la moins active paraît être

Ceci admis, si l'on se rappelle que l'hydrogène est considéré comme un métal gazeux, que l'eau est complétement inactive sur l'économie animale, et que l'eau oxygénée désorganise immédiatement les tissus organiques, on sera naturellement porté à induire, sinon à conclure, que chaque molécule d'eau est enveloppée par une molécule d'hydrogène. D'après cela, une molécule d'eau serait composée, en allant du centre à la circonférence,

l'oxyde mercurique, puis l'azotate hismuthique, puis l'acétate cuivrique, etc. Tous les autres composés sont d'affreux poisons qu'il serait difficile de classer suivant l'ordre de leur activité meurtrière.

» Quelle différence entre l'eau et l'eau oxygénée !

» Dans le tableau qui précède, j'ai opposé les oxydes aux oxydes, les acides aux acides, les sels aux sels, etc.; maintenant je vais prendre deux séries d'oxydation, celles de l'azote et de l'arsenic, pour mieux faire ressortir ce qu'il y a de vrai dans l'énoncé de ma proposition.

» L'air atmosphérique est un mélange d'azote et d'oxygène, qui n'exerce aucune action fâcheuse sur l'économie animale; au contraire, son action est bienfaisante, et nul être animé ne saurait exister sur notre planète sans ce mélange.

» L'oxyde azoteux, qui contient plus d'oxygène que l'air atmosphérique, enivre les animaux qui le respirent, et les ferait bientôt périr s'ils le respiraient pendant longtemps.

» L'oxyde azotique contient une fois plus d'oxygène que le précédent; il est très vénéneux.

» L'acide azoteux est beaucoup plus actif que l'oxyde azotique.

» Enfin, l'acide azotique est un des poisons les plus violents que l'on connaisse.

» Ainsi, l'air atmosphérique qui entretient la vie, sans lequel la vie ne saurait exister, est formé des mêmes éléments que l'acide azotique, qui détruit la vie, avec lequel la vie ne saurait exister. L'air qui nourrit, le poison qui tue, et tout cela avec les mêmes éléments : l'azote et l'oxygène.

» Que l'on dise donc après un pareil rapprochement, que l'étude des sciences conduit à l'athéisme!

» L'arsenic (le métal), est sans action sur les animaux: combiné avec une certaine quantité d'oxygène, il forme l'oxyde d'arsenic, qui est dangereux; avec une plus grande quantité d'oxygène, il forme l'acide arsénieux (mort-aux-rats), qui est un poison très actif; enfin ce dernier poison, combiné avec une nouvelle quantité d'oxygène, constitue l'acide arsénique, qui est un poison d'une effrayante énergie.

» Voici une autre relation: la solubilité des combinaisons est d'autant plus grande, que le nombre des atomes du corps E — est plus grand aussi. En effet, les combinaisons inscrites dans la première colonne sont très peu

d'hydrogène, d'oxygène et d'hydrogène. En ajoutant un nouvel atome d'oxygène, on aurait l'eau oxygénée (1).

Que de recherches à faire dans cette direction et que de brillants résultats elles promettent !

L'isomérie se conçoit aisément, en admettant notre hypothèse sur la constitution physique des gaz. Supposons, par exemple, quatre corps élémentaires A, B, C, D. Ces quatre corps, en se combinant, pourront donner naissance aux composés suivants : ABCD = ABDC = ACBD = ACDB = ADBC = ADCB, etc.

Mais si nous prenons un certain nombre de chacun de ces éléments, comme A^{48}, B^{42}, C^{12}, D^{22} (2), nous pourrons concevoir la possibilité d'obtenir un nombre incalculable de combinaisons isomères.

Indépendamment de cette pénétrabilité chimique ou *hétérogène*, il en existe une autre que j'appellerai physique ou *homogène*, et qui s'exerce entre les molécules similaires, comme entre l'eau et l'eau, le soufre et le soufre, etc.

Si je suis parvenu à me faire bien comprendre par ce peu de mots, on concevra facilement le mécanisme du passage de l'état gazeux ou de vapeur à l'état liquide ; on concevra facilement la condensation successive ou simultanée des corps existant dans l'atmosphère de la terre à l'époque de son incandescence.

Je vais prendre l'eau pour exemple, et continuer ensuite l'exposition de mes vues sur la géogénie.

On sait que la vapeur d'eau au-dessus de + 100° est invisible, et qu'au-dessous de cette température elle est visible, et formée de sphères creuses dont les parois sont assez épaisses pour être

solubles, tandis que celles de la deuxième le sont beaucoup, sauf les exceptions.

» Il y a sans doute plus d'une objection à faire à cette manière de voir, aussi n'ai-je point, quant à présent, la prétention de formuler une loi chimique sur les rapports qui existent entre les propriétés médicinales des médicaments chimiques et le nombre d'atomes de l'élément E — ; mais j'appelle l'attention des médecins sur ce point; il est digne, je crois, de leurs méditations. »

(1) Voyez la deuxième partie, expérience 82ᵉ.

(2) Ces nombres représentent la composition de la fibrine $C^{48}H^{42}Az^{12}O^{22}$.

aperçues au moyen d'une loupe, lorsqu'on les examine sur un plan noir. Ces vésicules constituent les brouillards et la vapeur d'eau au-dessous de + 100°. A une température plus basse, et sous certaines influences électriques si bien étudiées par Peltier, ces vésicules s'attirent et forment de petites sphères pleines, qui sont précipitées vers la terre : ce sont alors des gouttes de pluie qui donnent elles-mêmes naissance à la grêle dans les régions élevées de l'atmosphère, dans des circonstances et en vertu de forces qui ne sont peut-être pas encore bien connues (1).

En pénétrant encore plus avant dans ces faits, on trouve qu'ils se prêtent merveilleusement à l'explication de la pluie sans nuages, à celle de leur formation subite en un point quelconque de l'atmosphère, et enfin à celle des *grains secs* et des *grains mouillés.*

Jusqu'ici on a fait peu d'attention à ces phénomènes qui se reproduisent tous les jours sous nos yeux, et qui ne sont pourtant pas sans importance, car ils jettent un jour tout nouveau sur une des propriétés principales des corps : la compressibilité.

Essayons de fixer un instant l'attention sur ces faits.

Admettons, comme nous l'avons déjà fait, que les atomes des gaz soient formés de vésicules dont les parois sont assez minces pour être invisibles, et nous comprendrons facilement leur grande compressibilité.

Admettons aussi que les atomes des liquides soient formés de

(1) Par le mot *force*, que j'emploie tantôt au singulier, tantôt au pluriel, j'entends *la cause* ou *les causes qui meuvent un corps ou tendent à le mouvoir.* Mais, pour moi, il n'y a qu'une force : l'*attraction*, et son antagoniste, la *répulsion*, qui n'est qu'une modification de l'attraction. Cela est si vrai, que la même force peut être attractive pour un corps, et répulsive pour un autre, et *vice versâ*. Ainsi, une capsule de platine chauffée à + 200° est *répulsive* par rapport à l'eau qu'on y verse et qui ne la mouille pas ; mais elle est *attractive* par rapport à l'acide sulfurique qui la mouille. N'est-ce pas ainsi que les choses se passent dans la nature ? Ne voyons-nous pas tous les jours, sous nos yeux, un corps A être sans affinité pour un corps B, et se combiner immédiatement avec un autre corps C ?... (Voyez page 230 ce qui a été dit du calorique + et du calorique —).

sphères pleines, et nous comprendrons également, avec la plus grande facilité, leur incompressibilité presque absolue.

Admettons encore qu'un corps solide ne diffère du même corps à l'état liquide que par de plus petits intervalles moléculaires, et nous comprendrons tout aussi facilement le passage de l'état liquide à l'état solide, l'augmentation du volume dans certains cas (la glace), sa diminution dans la plupart des autres cas, et les différentes formes de cristaux, suivant que les sphères se touchent par un certain nombre de points, chaque point de la sphère donnant naissance par son aplatissement, soit à une face, soit à une facette, celle-ci et celle-là à des arêtes, et toutes ensemble à des angles divers.

Voici une expérience sur la solidification de l'eau que je crois devoir rapporter ici.

105e *Expérience.* — On prend un tube long de 0,10 et du diamètre de 0,01, on le remplit à moitié d'eau distillée, on effile le tube ; ensuite on fait bouillir l'eau, et, lorsqu'elle est en pleine ébullition, on oblitère l'extrémité effilée du tube, en dirigeant dessus le dard de la flamme d'un chalumeau. Si cette dernière opération est bien faite, le tube est parfaitement purgé d'air, et l'eau continue à bouillir pendant quelque temps, quoique le tube soit soustrait à l'action de la chaleur. Lorsque le tube est refroidi, on le place verticalement sur un support, et on le soumet à l'action d'une température égale à — 6° ou 8°. Au bout d'un certain nombre d'heures, l'eau est congelée. Si on l'examine alors, on voit au centre du cylindre, à l'aide du microscope, une myriade de bulles qui ne sauraient être des bulles d'air (1). Voici comment s'explique leur formation : au moment de la solidification, il se dégage, comme on sait, une certaine quantité de calorique qui se loge dans un certain nombre d'atomes liquides ou

(1) Dans un ouvrage intitulé *Sull'origine delle montagne e dei volcani, ecc.*, le professeur P. Gorini, de Lodi, a reproduit *in extenso* (page 27) la description de cette expérience à laquelle il attache une certaine importance.

L'ouvrage de Gorini est d'une hardiesse qui étonne d'abord la raison, mais qui la subjugue ensuite pour toujours. C'est un livre d'avenir d'une immense portée.

pleins, et les transforme en atomes creux ou vésiculaires (vapeur, brouillard), d'*où la dilatation de l'eau en passant de l'état liquide à l'état solide.*

Le résnltat de cette expérience est tellement capital, qu'il ne faudra l'admettre définitivement qu'après l'avoir vérifié, et vérifié un grand nombre de fois.

106ᵉ *Expérience.* — Voici une autre expérience qui me paraît propre à confirmer mes vues snr la pénétrabilité ou la *copulation* des atomes. On prend un matras d'essayeur, et l'on y introduit 12 à 15 grammes d'acide sulfureux anhydre, puis on le scelle hermétiquement. Cela fait, on renverse le matras de manière à faire tomber tout l'acide dans le col. Ensuite on l'examine avec soin et l'on reconnaît que sa transparence est parfaite. Alors on chauffe la panse du matras au moyen d'une lampe à alcool, et presque aussitôt on voit apparaître dans son intérieur des nuages blanchâtres, qui en détruisent la transparence.

Quelle est la cause de ce phénomène insolite?

La voici. Les molécules d'acide et leurs intervalles se dilatent d'une certaine quantité dans un espace limité par les parois du matras, lequel ne se dilate pas dans la même proportion que les molécules d'acide; *alors il ne peut plus les contenir*, alors aussi les molécnles se condensent, diminuent en nombre et augmentent en épaisseur par suite de leur pénétration mutuelle : c'est un *brouillard* d'acide sulfureux.

Ainsi, en supposant que le matras contînt 100 molécules d'acide sulfureux (sphères creuses) quand il est froid, il n'en contiendrait plus que 50 qnand il est chaud, celles-ci ayant absorbé les 50 autres. Alors elles sont à de plus grands intervalles les unes des autres, elles ont augmenté en volume et leurs parois en épaisseur, et ce serait, d'après mes vues théoriques, cette épaisseur qni les rendrait visibles et qui détruirait leur transparence. (Voy. page 281 et suiv.)

On tire de cette expérience une conséquence pratiqne importante, c'est que la tension des vapeurs n'est pas illimitée.

Nous résumerons ce qui précède sur la constitution physique des gaz, des liquides et des solides, en disant que les molécules

des deux premiers sont sphériques ou limitées par des courbes, et que celles des solides le sont par des plans; d'où il suit que les espaces intermoléculaires peuvent être moins grands dans les solides que dans les liquides: ce qui expliquerait d'une manière assez satisfaisante la contraction de la plupart des corps en passant de l'état liquide à l'état solide. Enfin, que les molécules des gaz sont des sphères vides de matière pondérée, tandis que celles des liquides et des solides sont pleines; d'où leur incompressibilité.

Je finirai sur ce point, en faisant remarquer que cet essai sur la constitution physique de la matière, et particulièrement sur celle des gaz, est fort incomplet et très susceptible d'être controversé; mais j'espère que je trouverai grâce devant mes lecteurs, quand ils sauront que j'ai surtout pour but de rappeler les idées des anciens philosophes et les travaux plus récents de Swedenborg et de Wollaston, qui ont traité la même question sans y faire entrer l'état sphéroïdal, inconnu à l'époque où ils écrivaient les uns et les autres.

Revenons maintenant à l'époque de l'incandescence de la terre.

A cette époque, beaucoup de substances, qui sont aujourd'hui à l'état solide ou liquide, faisaient partie de l'atmosphère, et s'y trouvaient isolées ou combinées. L'antimoine, le zinc, l'arsenic, le mercure, le phosphore, le soufre, l'iode, le brôme, le chlore, etc., libres ou combinés, et l'eau, étaient au nombre de ces substances. Un grand nombre de combinaisons, d'acides, de carbures, etc., faisaient aussi partie de l'atmosphère. Toutes ces matières, en se condensant au fur et à mesure du refroidissement du globe, *passaient à l'état sphéroïdal* en tombant à sa surface, pour s'évaporer de nouveau (1), en subissant toutes sortes de dédoublements, de combinaisons et de métamorphoses, ainsi que nous l'avons vu dans la deuxième partie de cet ouvrage.

Le passage de l'état gazeux à l'état sphéroïdal sur la surface de la terre est une conséquence rigoureuse de son incandescence, ainsi que nous l'avons déjà dit. L'étude de l'état sphéroïdal à ce point de vne doit donc concourir aux plus importantes découvertes,

(1) Voyez la 69e expérience.

expliquer un grand nombre de phénomènes, et conduire à la source des plus grandes vérités. Mais il faut pour cela que quelque puissant génie s'empare de ce vaste sujet et le féconde. C'est alors que naîtra cette nouvelle science appelée si justement *Paléontologie inorganique* par le docteur Foucart (*Gazette des hôpitaux*, 17 août 1848).

L'atmosphère de la terre devait être un vaste laboratoire dans lequel s'opéraient un grand nombre d'actions et de réactions. Il est permis de croire qu'elle contenait toute l'eau qui est actuellement à la surface et dans les profondeurs du globe, et des carbures d'hydrogène de tous les degrés.

Ces carbures, en se condensant et en passant à l'état sphéroïdal, n'ont-ils pas pu se comporter comme nous l'avons vu dans la 95ᵉ expérience? Pour moi, cela ne saurait être douteux. Plus tard, ces dépôts de carbone hydrogéné, ces houilles proprement dites ont reçu dans leur sein, transportés par les courants, les végétaux que l'on y remarque aujourd'hui, et se les sont assimilés; puis le tout a été recouvert par des inondations successives dont le passage de l'eau, de l'état sphéroïdal à l'état liquide, nous explique la cause (1).

L'atmosphère, laissant toujours quelque chose à la surface de la terre, s'épurait de plus en plus.

L'eau, en passant à l'état sphéroïdal, n'était pas de l'eau pure, elle participait de la composition de l'atmosphère, et contenait en dissolution des acides, des sels, des corps de toute espèce; elle a pu se comporter comme dans la 6ᵉ expérience. L'eau, s'évaporant de nouveau et avec lenteur, rassemblait dans sa masse le sable, l'alumine et généralement toutes les substances qui se trouvaient dans sa sphère d'action; d'où ces formations partielles, ces lambeaux d'argile plastique, de sables primitifs si difficilement explicables. (*Voy. la* 25ᵉ *expérience.*)

(1) Cette hypothèse sur la formation de la houille, qui est seulement indiquée ici, a, sur celles qui l'ont précédée, un avantage réel, c'est d'être *confirmée par la synthèse*. (Voyez la 95ᵉ expérience.) Je reviendrai sur cette formation importante, un peu plus loin. (V. p. 219, § Météorologie, à la fin de l'ouvrage.)

On objectera peut-être que la vitesse des gouttes de *pluie* (1) de l'atmosphère des temps primitifs devait être suffisante pour vaincre la force répulsive de la surface incandescente du globe ; mais des expériences directes nous ont appris qu'il a pu, qu'il a dû en être autrement. (*Voy. la 57e expérience.*)

L'atmosphère de cette époque, dont la densité devait être très considérable, participait-elle au mouvement de la terre, et la force centrifuge l'avait-elle rejetée vers les régions équatoriales ?

S'il en était ainsi, c'était de ces régions que les courants devaient partir pour se diriger vers les pôles. Si les choses ont pu se passer de la sorte, les roches primitives doivent être plus près de la surface du sol à l'équateur, et être plus profondément situées à mesure que l'on avance vers les pôles. Les observations géologiques confirment-elles cette dernière hypothèse !

Toutes les eaux du globe ont-elles pu se condenser et passer à l'état sphéroïdal à l'équateur, et y former un anneau analogue à l'anneau de Saturne ? Si cette question était résolue affirmativement, l'existence des courants allant de l'équateur aux pôles serait positivement établie.

En admettant donc l'état sphéroïdal de l'eau, sur une échelle immense, à la surface du globe, on a la clef d'un grand nombre de formations géologiques successives et de déluges, soit partiels, soit universels.

Le globe, rayonnant dans l'espace, émettant plus de calorique qu'il n'en absorbait, se refroidissait de plus en plus, et l'époque arriva où il put être *mouillé* et enveloppé par l'eau (2). Que se passa-t-il alors ? Les espèces végétales d'abord et ensuite les races animales prirent possession du globe. Mais combien de millions de siècles s'étaient écoulés depuis que la terre séparée du soleil allait devenir propre à être habitée ? c'est là un problème à jamais insoluble.

(1) « Nous avons déjà dit que c'est à certaines pluies carbonifères que » M. Boutigny attribue la formation des houillères. Cette idée généralisée est » neuve et féconde..... » (Babinet, *Revue des Deux Mondes*, 15 mai 1855, Astronomie cosmogonique.)

(2) Voyez la 91e expérience.

On se tromperait, du reste, si l'on croyait que l'atmosphère dût avoir la composition actuelle pour permettre aux végétaux de croître sur les îlots qui se montraient çà et là au-dessus des eaux. On sait aujourd'hui, à n'en pas douter, que certaines agames ont pu naître et parcourir toutes les phases de leur existence dans des milieux contenant les substances les plus délétères (Bory de Saint-Vincent, Dutrochet, Bouchardat, Chatin, Louyet, Boutigny, etc., etc.).

On se tromperait encore si l'on croyait le calme pour toujours établi à la surface du globe, lorsqu'il fut couvert par les eaux. Le mouvement vibratoire de la masse incandescente ne pouvait cesser, il ne cessa pas et n'a pas encore cessé aujourd'hui. Des tremblements de terre, des formations par voie de soulèvement, des éruptions volcaniques durent être très fréquents, et la matière en fusion de reparaître à la surface du sol, et l'état sphéroïdal de se montrer de nouveau et partiellement en tous lieux.

Les premiers végétaux qui prirent possession du globe croissaient avec une vigueur aujourd'hui sans exemple ; ils appartenaient, par leur organisation d'une simplicité remarquable et par leurs proportions gigantesques, à des espèces qui n'avaient rien de commun que la composition chimique avec les espèces actuelles.

M. Ad. Brongniart pense que l'atmosphère qui alimentait ces végétaux contenait plus d'acide carbonique qu'elle n'en contient aujourd'hui, ce qui explique d'une manière très satisfaisante leur croissance rapide et leur développement extraordinaire.

Plus tard des reptiles monstrueux naquirent dans les eaux et sur la terre ferme; plus tard encore apparurent les animaux à sang chaud, les mammifères et les oiseaux.

Arrêtons-nous un instant sur cette époque de l'histoire du globe.

La sublime intelligence qui créa les mondes avait tout prévu, tout ordonné pour l'accomplissement de ses desseins ; et l'époque fixée pour la création des vertébrés à sang chaud étant arrivée, il fallait un milieu propre à l'incubation, *un milieu dont la température fût invariable, quelles que fussent d'ailleurs les variations de*

la température du milieu ambiant. Si l'on se le rappelle, on trouve ce milieu dans les corps à l'état sphéroïdal dont la température est à peu près invariable, quelle que soit d'ailleurs celle des vases qui les contiennent.

L'état sphéroïdal, comme on le voit, s'il ne déchire pas le rideau qui dérobe à nos yeux le plus impénétrable des mystères de la création, lui donne du moins un commencement de transparence que des observations ultérieures, et surtout des expériences, pourront compléter (1) . . . .
. . . .

(Voy. la deuxième partie jusqu'à l'expérience 73 inclusivement.)

Une époque remarquable de la *vie* (2) de notre planète est surtout caractérisée par la formation, dans les eaux tranquilles, des

(1) Je prie les lecteurs qui trouveront ces inductions trop hardies, de n'être pas plus sévères envers moi que ne l'a été le professeur Belli, et de dire avec lui : « Era naturale che la vista di fatti così sorprendenti facesse » al signor Boutigny una viva impressione, e ch'ei ci vedesse maggiore no- » vità di quella che altri vi possa scorgere. E noi non dobbiamo esserglienc » severi, essendo anzi forse a ciò debitori dell'avere egli con tanta perse- » veranza continuate le sue bellisime osservazioni. » (*Giornale* déjà cité, p. 203.)

(2) Tout, dans la nature, vit, se reproduit et meurt ; mais chaque chose vit, se reproduit et meurt suivant certaines lois assignées dans l'origine à chaque objet de la création. Ainsi, les animaux ont un autre mode d'existence et de reproduction que les végétaux, et parmi les animaux mêmes, il existe de grandes différences sous ce rapport. Ai-je besoin de dire qu'un mollusque vit et se reproduit autrement que les mammifères? Il en est ainsi des choses inanimées; elles ont un mode d'être et de se reproduire qui varie pour chacune d'elles et qui diffère essentiellement de celui des animaux, mais qui diffère un peu moins de celui des végétaux. Du reste, les végétaux et les animaux sont soumis à l'action d'une force qu'on a désignée sous le nom de *force vitale*, et dont la nature est tout à fait inconnue; toutefois, les différences entre les forces qui déterminent les phénomènes organiques et celles qui font naître les phénomènes inorganiques tendent à disparaître de plus en plus; mais il serait prématuré de dire qu'il n'y a qu'une force, quoique ce soit probable, comme nous avons dit plus haut, qu'il n'y avait qu'un élément, qu'une matière.

Il y a quelques années, lorsque M. Dumas comparait l'homme à une machine à vapeur, cette comparaison me paraissait d'une hardiesse extrême; aujourd'hui, je ne la trouve plus que juste et fondée de tout point. (*Essai de statique chimique des êtres organisés*, par MM. Dumas et Boussin-

strates qu'on ne se lasse point d'admirer, tant elles sont régulières. Dans certaines localités, les couches de calcaire et de silex sont disposées de telle sorte, qu'on les prendrait pour des murailles bâties par des géants, à l'exception, toutefois, des contrées où le sol a été remué jusqu'à sa surface, soit par l'infiltration des eaux, soit par de nouvelles secousses souterraines, postérieures à sa formation; mais ce n'est là qu'un accident purement local dont on ne doit tenir que peu de compte, et qui est tout à fait étranger à la formation de ces couches qui constituent le sol qui recouvre le terrain primitif.

De nouveaux soulèvements eurent lieu, des chaînes de montagnes s'élevèrent à la surface du globe; les animaux terrestres furent créés; les couches sous-marines continuèrent à se former,

gault.) Voici quelques exemples qui feront mieux comprendre ma pensée sur la vie et la mort des choses inorganiques.

Que l'on suppose dans un espace quelconque un mélange de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxygène; qu'une étincelle électrique vienne frapper ce mélange, une violente détonation en sera la suite, et il naîtra de ce choc une certaine quantité d'eau qui aura certaines propriétés physiques variables, certaines propriétés chimiques invariables : ce sera la *vie* inorganique de l'eau. Qu'ensuite on fasse passer cette eau en vapeur sur des charbons ardents ou de la tournure de fer rouge de feu, elle se décomposera, elle sera réduite à ses éléments, ou bien elle formera d'autres combinaisons, c'est-à-dire qu'elle sera détruite, qu'elle aura subi la *mort* inorganique. Ajoutez à l'hydrogène et à l'oxygène du carbone et de l'azote dans un état particulier de combinaison, puis enflammez ce mélange; il en naîtra subitement autre chose que de l'eau, qui durera quelque temps et qui se décomposera ensuite pour rentrer dans le torrent de la circulation générale de la nature. Tout cela se comprend sans peine, si l'on admet avec tous les philosophes l'indestructibilité de la matière et ses mille métamorphoses. Ceci, du reste, ne détruit pas l'hypothèse que j'ai mise en avant sur l'existence d'un seul élément pondérable. Dans les suppositions que je viens de faire, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, etc., représenteraient simplement des sommes de l'élément primitif.

« *Ed ora che la vita ha potuto discendere nel campo de' minerali e piantarvi il suo stendardo, forse altre conquiste l'attendono, ed è difficile il prevedere dove troverà una barriera che l'arresti nel suo cammino. Già varie volte fu esternata l'opinione che materia e vita non potessero mai dissociarsi, e che l'incessante attività della materia non fosse che l'effetto d'un vasto travaglio d'organizzazione.* » (P. Gorini, *Sull'origine delle montagne e dei volcani, ecc.* p. 257. Lodi, 1851.)

enveloppant les races pélagiennes, qui disparaissaient par suite de nouvelles conditions d'existence, au milieu desquelles elles ne pouvaient plus vivre.

Ces races nombreuses d'animaux marins, qu'on retrouve pétrifiées dans les couches de calcaire et de silex, semblent s'être éteintes doucement au milieu du calme le plus parfait de la nature. On dirait qu'une cause générale d'asphyxie est venue subitement les saisir au sein des eaux tranquilles où elles vivaient alors. Aujourd'hui on les retrouve à l'état de fossiles enveloppées d'un sédiment ou calcaire ou siliceux, qui les a conservés jusqu'à nous avec toutes leurs proportions, toutes leurs parties les plus fines et les plus déliées, en un mot avec tous leurs détails.

C'est quelque chose d'étonnant et de merveilleux que la conservation de certains fossiles, d'une délicatesse de forme que rien ne saurait égaler. Et c'est là une preuve, une preuve irréfragable de la parfaite stabilité et de la tranquillité profonde qui régnaient dans les mers à l'époque où ces animaux ont cessé de vivre.

Ici nous touchons à l'époque de la plus épouvantable catastrophe qui se soit jamais accomplie à la surface de la terre.

L'homme existait-il avant cette époque? Il y a autant de raisons pour croire qu'il existait qu'il y en a pour supposer qu'il n'existait pas. Mais ce n'est point ici le lieu d'examiner cette grande question.

Une éruption volcanique d'une force prodigieuse ébranla toute la masse de la terre. Elle lança dans l'espace une masse de matière en fusion, au milieu de laquelle se trouvèrent entraînées des parties de l'écorce du globe qu'elle avait soulevées. Cette masse s'arrêta où finit la sphère d'attraction de la terre et où commence celle du soleil, puis fut entraînée par la terre et devint son satellite (1). Le volume des matières provenant de cet affreux déchirement équivalait et équivaut encore au 49e de celui de la terre. Ce

(1) Ne serions-nous pas en droit de demander aux physiciens, qui soutiennent que les corps à l'état sphéroïdal sont supportés par un coussin de vapeur, quelle est la nature de la vapeur qui supporte la terre et son satellite, et généralement tous les corps planétaires qui existent dans l'espace? (Voy. § 1, 3e partie.)

fragment du globe fut enlevé dans la partie baignée actuellement par les mers.

Un abîme venait d'être creusé sur la terre; il devait être rempli par les eaux, et il le fut en peu de temps (1) par des courants d'une vitesse inimaginable. L'un de ces courants se dirigeait du S.-E. au N.-O., c'est-à-dire suivant une ligne à peu près parallèle à celle qui commencerait au détroit de Bab-el-Mandel, se prolongerait par la mer Rouge, traverserait l'Égypte et la Méditerranée, et se terminerait au delà de l'Espagne. C'est peut-être à l'irruption de ces eaux qu'est due l'ouverture du détroit de Gibraltar et la disparition de l'Atlantide, de cette vaste contrée dont l'existence longtemps problématique n'est plus contestée.

Ainsi, on trouve dans cette projection d'une petite partie du globe une cause aussi simple que naturelle des courants qui auraient balayé sa surface, creusant partout sur leur passage de larges et profondes vallées, frappant de mort toutes les races d'animaux qui peuplaient la terre, corrodant les montagnes, emportant dans leur cours ces rochers épars çà et là dans le terrain diluvien et connus sous le nom de blocs erratiques. Ces courants, qui transportèrent toutes les mers vers la même partie du globe, expliquent encore l'origine de ces grands amas de silex dont les arêtes arrondies attestent qu'ils ont été roulés avec une violence extrême par les eaux qui les ont transportés et déposés loin des lieux où ils s'étaient formés.

Sans doute qu'il y a dans ce fait, qui rentre essentiellement dans la théorie de la formation des montagnes par voie de soulèvement, une cause d'un déluge universel ; mais ce n'est là qu'une conjecture, qu'une hypothèse hasardée et purement gratuite. Voilà ce qu'on dit assurément de la cause que j'assigne au déplacement général des eaux ; mais cette cause fût-elle entièrement hypothétique, ce ne serait point une raison pour la rejeter sans l'avoir préalablement approfondie, par la raison que voici : c'est que la cause de ce grand cataclysme est restée jusqu'à ce jour tout à fait conjecturale.

(1) Que les eaux qui sont sous le ciel se rassemblent en un seul lieu, et que l'élément aride paraisse. (*Genèse*).

Mais si je parviens à fournir quelques preuves de ce déchirement du globe, si je parviens à établir que la terre n'a pas toujours eu de satellite, l'hypothèse s'évanouit et fait place à une théorie exacte dans laquelle tous les faits connus se rangent d'eux-mêmes, et dans laquelle tous les faits à connaître se rangeront à leur tour. Or, les preuves, les voici.

PREMIÈRE PREUVE.

La géologie a prouvé que la plupart des terrains qui se trouvent entre le terrain primitif et le terrain diluvien s'étaient formés au sein des eaux parfaitement tranquilles qui enveloppaient presque entièrement le globe ; et ce qui corrobore cette opinion, qui est d'ailleurs établie sur de nombreuses observations, ce sont les fossiles qu'on trouve conservés dans ces terrains, et qui ne seraient pas parvenus jusqu'à nous dans l'état d'intégrité que nous admirons, s'ils avaient été ballottés dans des eaux courantes. La parfaite conservation de ces fossiles reproduits en creux et en bosse, avec une exactitude et une netteté désespérantes pour le mouleur le plus habile, atteste, je le répète, qu'ils sont morts et se sont pétrifiés au milieu des mers qu'aucun mouvement n'agitait. Or, si les mers suivaient tranquillement le globe dans ses mouvements de rotation et de translation, c'est que *le flux et le reflux n'étaient point encore établis, c'est que le phénomène des marées était encore inconnu à la surface de la terre* ; et si le phénomène des marées était inconnu à la surface de la terre, évidemment c'est que LA LUNE N'EXISTAIT PAS, car la lune est la cause principale des marées.

DEUXIÈME PREUVE.

Le véritable bassin de l'Océan est bien loin d'avoir l'étendue et la configuration que nous lui voyons. Dans les parties qui avoisinent les basses terres, la profondeur de la mer augmente, en général, graduellement jusqu'à des distances plus ou moins éloignées ; puis tout à coup on trouve une espèce de falaise sous-

marine, taillée à pic : ici la mer est sans fond, c'est-à-dire qu'on ne le trouve plus. Dans d'autres localités où l'Océan vient battre au pied des plus hautes falaises, formées le plus souvent de roches primitives, cette grande profondeur que je viens de signaler se présente immédiatement, et c'est l'espace compris entre ces grandes murailles taillées à pic, ou suivant le rayon de la terre, qui constitue le véritable bassin de l'Océan.

La théorie des soulèvements est impuissante pour expliquer ce fait, parce que les bords du bassin de l'Océan ne sont point inclinés, ils sont, au contraire, verticaux ; ils ressemblent aux éclats d'une bombe. Il est évident qu'il y a eu là une partie de l'écorce du globe qui a été enlevée ou enfoncée : mais elle ne peut point avoir été enfoncée, parce que ses bords seraient obliques et non verticaux, et représenteraient dans leur ensemble une chaîne de montagnes renversées. Si cette partie du globe n'a point été enfoncée, et il est très vraisemblable qu'elle ne l'a point été, mais enlevée, où est-elle? Je l'ai dit plus haut.

TROISIÈME PREUVE.

S'il est vrai que la lune soit composée de fragments du globe, liés par des laves volcaniques, elle doit être hérissée de montagnes proportionnellement plus élevées que celles de la terre, et il en est ainsi. S'il est vrai que la lune soit due à une éruption volcanique, elle doit avoir l'aspect des terrains volcaniques, et il en est ainsi. S'il est enfin vrai qu'elle soit formée de matières volcaniques, de matières solides et de matières en fusion lancées pêle-mêle, sa densité doit être moins élevée que celle de la terre, et il en est encore ainsi. La densité de la lune est à celle de la terre à peu près : : 2 : 2,80.

Voilà donc trois preuves tirées de la géologie, de l'hydrographie et de l'astronomie, qui me paraissent décisives et dignes de fixer au moins un instant l'attention des savants.

Toutes les planètes supérieures (et c'est une remarque curieuse), excepté Mars, ont des satellites, et en plus grand nombre que la terre. Mars est donc une exception, mais je ne la crois qu'appa-

rente; et si l'on n'a pas encore découvert de satellite dans la sphère d'attraction de cette planète, c'est probablement que les télescopes ne sont point encore assez puissants pour qu'on puisse les apercevoir, ou que cette planète n'a point été observée avec assez d'attention et de persévérance. Si j'étais astronome, et que j'eusse des télescopes à ma disposition, Mars serait l'objet de mes observations de prédilection.

Quant aux planètes ultra-zodiacales, il est permis de conjecturer qu'elles formaient dans l'origine une seule planète ; des explosions successives auront fait surgir Vesta et Junon, qui ont été d'abord les satellites de Cérès et de Pallas, qui formaient alors une seule planète qu'une dernière explosion aura brisée. Cette dernière explosion explique pourquoi Vesta, Junon et Cérès n'ont point d'atmosphère, et pourquoi Pallas en a une très vaste, «dont » la force expansive n'est que faiblement réprimée par l'attraction » d'une aussi petite masse. »

Cette nouvelle théorie, comme on le voit, explique avec une grande facilité tous les phénomènes géologiques qui ont souvent exercé la sagacité des géologues, et qui les ont quelquefois divisés. Ces phénomènes sont : la disparition des races antédiluviennes, la chute des aérolithes, le transport des blocs erratiques et le creusement des vallées.

Les Arcadiens, je crois, ont la prétention de descendre d'ancêtres qui existaient avant la lune; mais, d'un autre côté, les Égyptiens soutiennent qu'elle a existé de tout temps; ils lui avaient donné le nom d'*Isis*, qui signifiait l'*antique*. De ce que les Égyptiens soutenaient l'antiquité de la lune, ne peut-on pas en inférer, sinon en conclure que cette antiquité était contestée? On ne défend pas ordinairement une chose qui n'est pas attaquée. Il y a là un indice historique de plus, à l'appui de la théorie que j'ai esquissée sur la formation du satellite de la terre.

On a admis jusqu'ici que la lune avait été couverte de volcans. Je crois que c'est une erreur. La lune est incontestablement d'origine volcanique, mais on peut bien mettre en doute qu'il ait jamais existé de volcans dans ce satellite. Tous ces enfoncements coniques qui se remarquent à sa surface, et que l'on prend géné-

ralement pour des cratères, sont dus au retrait de la matière volcanique. C'est un phénomène parfaitement analogue à celui que l'on observe dans les matières, sauf deux ou trois exceptions, qui passent de l'état liquide à l'état solide. Elles se solidifient d'abord par leurs surfaces, et la face supérieure offre alors un plan horizontal. Ensuite les couches sous-jacentes se refroidissent et se solidifient à leur tour, diminuent de volume et attirent à elles les parties supérieures déjà refroidies, ce qui produit une dépression dont la forme varie ; elle est conique dans le plus grand nombre des cas. On peut vérifier ce fait, en faisant fondre un métal quelconque, une résine, un corps gras, de la cire, etc., dans un creuset, et le laissant refroidir tranquillement.

Une autre substance présente ce phénomène d'une manière plus tranchée, c'est le bi-iodure de chlorure mercureux (Hg^2Cl+I). On prend un tube de verre de 5 à 10 millimètres de diamètre, on le remplit de cette combinaison, et on la fait fondre ; cela fait, on place le tube dans une position verticale, sur un support, et on l'examine quand il est froid. Le retrait du bi-iodure est si considérable, qu'il forme un cylindre creux dans le tiers au moins de sa longueur.

La lune tourne autour de son axe, disent, non pas tous les astronomes, mais le plus grand nombre, et le plus grand nombre a raison. Toutefois ce mouvement de rotation a quelque chose de particulier que je dois signaler.

Notre satellite tourne sur son axe et autour de la terre, et de telle sorte qu'il présente toujours le même hémisphère à la terre. Si la lune était traversée par une tige inflexible, fixée à la terre, ses mouvements s'accompliraient à peu près comme ils s'accomplissent aujourd'hui. C'est ainsi qu'un homme qui ferait le tour du globe, en suivant l'équateur, aurait fait une *culbute*, à la fin de sa course, sans que ses pieds eussent jamais quitté la terre ; et cependant le même homme qui ferait une culbute sur place aurait, pendant un instant, les pieds en l'air et la tête en bas.

La lune tourne autour de son axe, comme notre voyageur autour de la terre, et c'est pour cela que ce satellite présente toujours, et présentera toujours le même hémisphère à la terre.

Voici un autre exemple de la différence du mouvement de rotation de la lune : Si la terre avait, par rapport au soleil, le même mouvement de rotation que la lune par rapport à la terre, elle ne ferait qu'un tour sur elle-même dans l'année. Dans cette hypothèse, un hémisphère serait sans nuit et sans hiver, tandis qu'un seul hiver et une seule nuit pèseraient éternellement sur l'autre hémisphère. Ce mode de rotation de la lune ne semble-t-il pas indiquer qu'elle est solide dans toutes ses parties? Un mot sur cette question.

Il existe, comme on l'a vu, quelque différence entre la rotation de la lune et celle de la terre. Ne résulte-t-il pas de cette différence que l'équilibre de chaleur est établi dans la lune, et qu'il n'existe pas dans la terre? Que le centre de gravité de la lune est à peu près invariable, et que celui de la terre varie à chaque instant? On se souvient du sphéroïde d'acide sulfureux, dans une sphère incandescente, et du sphéroïde d'eau de chaux (1), dont la partie liquide ne remplit pas entièrement la partie solide. Imaginons que la terre est, comme le soleil, formée de trois sphères concentriques : la plus grande, constituant l'écorce du globe; la seconde, contenant de la vapeur fournie par la troisième qui est à l'état de fusion ignée.

La sphère centrale qui est à l'état liquide, jouissant conséquemment d'une grande mobilité, ne saurait exister au centre de la terre, ne saurait être suspendue précisément au milieu de la sphère de vapeur par suite de l'attraction solaire, et doit se trouver au point du globe qui se trouve le plus rapproché du soleil, c'est-à-dire au méridien; il suit donc nécessairement de cette mobilité de la sphère en fusion que le centre de gravité de la terre change continuellement, et que ce changement est déterminé par l'excentricité de la sphère incandescente. Ce ne sont là, il est vrai, que des hypothèses, mais qui sont généralement admises, à l'exception peut-être de la vapeur que je suppose exister entre la sphère liquide et la sphère solide, comme nous avons vu qu'elle existe dans quelques planètes de laboratoire.

(1) Voyez l'*expérience* 63ᵉ.

Il résulte de bonnes observations faites par Fourier, et MM. Arago et Cordier, que la température du globe augmente d'un degré par 30 mètres de profondeur; mais, d'après le point de vue où toutes mes expériences m'ont placé, cet accroissement de température ne dépasserait pas l'épaisseur de la croûte solide du globe, que l'on suppose être d'un 60ᵉ du rayon de la terre. Au-dessous de l'écorce du globe, il y aurait un espace peu considérable, plein d'une vapeur dont la nature est inconnue, et qui aurait précisément la température de la couche la plus profonde de la sphère solide ; et enfin, au milieu de cette vapeur, un sphéroïde fluide à une température inconnue, mais que l'on peut supposer être fort élevée. Ce sphéroïde pourra se comporter, par la suite des temps, comme ceux que nous avons observés dans le cours de cet ouvrage.

Je n'entrerai pas dans de plus longs développements à cet égard, et je les terminerai en demandant : Si l'on ne trouverait pas dans l'existence de cette masse fluide, isolée au sein du globe, la cause de la rotation diurne de la terre, et, par analogie, celle des autres planètes? Mais ces questions ardues sont du domaine de la dynamique abstraite, et ne peuvent être approfondies qu'au moyen des mathématiques transcendantes.

Beaucoup de naturalistes et de géologues sont dans la plus parfaite quiétude sur l'état futur de la terre. L'état actuel sera désormais invariable, disent-ils ; tous ces grands cataclysmes qui l'ont antérieurement bouleversée ne se renouvelleront plus, et l'intelligence humaine n'a plus qu'à s'y développer sans souci de l'avenir, car la terre est aujourd'hui ce qu'elle sera toujours (1). Cette opinion sur la stabilité de l'ordre actuel des choses terrestres est consolante et bien faite assurément pour nous rassurer sur le sort des générations futures; mais je demande pardon à ces optimistes de ne pas partager leur opinion à cet égard, et si je ne la partage pas, c'est qu'elle ne me paraît pas fondée.

Elle ne me paraît pas fondée, parce qu'il n'est pas logique de

(1) *Discours sur l'avenir physique de la terre*, par Marcel de Serres. Montpellier, 1837.

conclure des troubles antérieurs à la tranquillité future : c'est le raisonnement contraire qui serait conséquent. Un homme voit pendant dix années consécutives la pleine lune revenir tous les 29 jours à peu près, et il en conclut la probabilité qu'elle reviendra encore ; cette conclusion est assurément très rationnelle, et la suite en confirme la justesse. Mais, dira-t-on, le phénomène de la pleine lune est périodique, et les grands cataclysmes qui ont ravagé la terre ne le sont pas ; et cela peut être vrai. Je dis « peut être », parce qu'en effet on ignore si ces formidables éruptions volcaniques, dont l'histoire est écrite sur le globe en caractères granitiques, sont ou non périodiques. S'il m'était permis d'émettre une opinion en pareille matière, je dirais que je crois ces grands phénomènes non périodiques ; non pas que je veuille dire qu'ils se manifestent tout à coup et sans avoir été préparés lentement et de longue main, car je crois, au contraire, que la nature travaille sans cesse à apprêter les leviers de ces puissantes explosions.

Disons-le donc, ce qui s'est opéré d'une certaine manière se reproduira encore de la même manière ; les lois de la nature sont immuables.

Tous les phénomènes passés, tous les phénomènes qui s'accomplissent de notre temps, c'est-à-dire toutes les analogies sont contre l'opinion d'une stabilité perpétuelle de la surface actuelle du globe. Comment d'ailleurs cette opinion pourrait-elle se soutenir en présence des tremblements de terre qui grondent chaque jour sous nos pas, et des torrents de lave que les volcans puisent dans les entrailles de la terre et qu'ils répandent à sa surface? Et puis, comment ne pas trembler sur l'avenir, non du globe, mais sur celui des races d'animaux qu'il nourrit, quand on sait (tout le monde est d'accord à cet égard) que la terre solide n'a que 10 myriamètres d'épaisseur, et qu'elle recèle dans ses flancs *une masse incandescente de* 1250 *myriamètres de diamètre !* (1) Je le répète, cette opinion ne me paraît pas fondée. Vivons donc en

(1) On serait certainement dans le vrai en disant que la terre, toutes proportions gardées, n'offre pas plus de résistance qu'un œuf.

toute sécurité, mais n'oublions pas que nous ne sommes point en sûreté, et qu'un nouveau satellite peut être projeté dans l'espace par la terre et détruire en un instant la race audacieuse de Japet, et tout ce que, dans son orgueil, elle dit avoir été créé pour elle. C'est dans ce sens que cette expression si pittoresque d'un homme d'État justement célèbre : « Nous sommes sur un volcan », sera éternellement juste et vraie (1).

Mais est-il possible de calculer l'époque d'une nouvelle catastrophe? Et peut-on dire comment elle s'accomplira ?

Tout ce qu'on peut répondre sur la première question, c'est : Non. Toutefois de nouvelles observations et de nouvelles découvertes géologiques permettront peut-être un jour de résoudre cette question d'une manière satisfaisante. En attendant, disons ici que ce phénomène peut se produire demain, comme dans mille ans et plus.

En raisonnant par analogie, on peut résoudre la seconde question avec l'espoir de ne pas trop s'écarter de la vérité.

(1) M. Babinet, dans le discours *sur les tremblements de terre et sur la constitution intérieure du globe*, qu'il a lu dans la séance publique de l'Institut, le 14 août 1855, a émis l'idée la plus hardie, la plus grandiose de ce siècle, sur la possibilité de faire tourner au profit de l'homme la chaleur centrale du globe. Nous pensons que les lecteurs de cet ouvrage nous sauront bon gré de reproduire ici la partie de ce discours où M. Babinet formule si clairement et si éloquemment son opinion sur ce sujet.

« L'homme, après avoir tremblé devant les fléaux de la nature, songe bientôt à utiliser leur énergie nuisible. Il a fait travailler à son profit le vent, les eaux, la substance de la foudre. C'est la pensée dominant le monde matériel :

Mens agitat molem.

L'esprit fait marcher la matière. Oserai-je transcrire cette petite fable de la Fontaine en quatre vers :

Le premier qui vit un chameau
S'enfuit à cet objet nouveau ;
Le second approcha ; le troisième osa faire
Un licou pour le dromadaire.

Mais que pourront la science et le travail pour utiliser le feu central de notre globe? Un agent qui se manifeste par les volcans et les secousses qui renversent les villes est un esclave terriblement difficile à maîtriser et à transformer en travailleur. Rien de plus facile pourtant.

» Tout le monde sait qu'on fait tout avec du feu et de la chaleur. On substitue

Voici de quelle manière tous les animaux qui peuplent actuellement la terre peuvent disparaître par l'action des feux souterrains.

Le sphéroïde incandescent, qui constitue la plus grande partie du globe, peut faire explosion et lancer dans l'espace un nouveau satellite, sans que l'ordre planétaire en soit un instant troublé, mais non sans que la terre éprouve une secousse terrible qui réduirait en poudre tous ses monuments et toutes ses villes, et anéantirait jusqu'au dernier de ses habitants qui périraient brûlés par les feux de la terre, ou broyés par ses débris, ou noyés dans ses ondes tumultueuses.

Ou bien la secousse serait assez forte pour briser la terre et pour donner naissance à de nouvelles planètes télescopiques, comme Vesta, Junon, etc. ;

Ou bien encore elle résisterait à la violence du choc, et le

le travail de quelques centimes de charbon au travail de l'homme pendant toute une journée. Avec le feu, on pare aux inconvénients des climats, on modifie les substances alimentaires, on compose et décompose tous les corps. Prométhée, en donnant le feu à l'homme, lui donna l'empire du monde et le foisonnement indéfini de sa race. Eh bien, il faut aller prendre dans le sein de la terre le feu et la chaleur qui y sont en si grande abondance. On a été chercher à d'immenses profondeurs les minerais divers que la nature avare semble n'y avoir déposés qu'à regret, et l'on a négligé le feu souterrain que la nature est prête à prodiguer en tout lieu à qui saura l'y conquérir.

» Nous ne sommes plus au temps où Voltaire raillait si amèrement Maupertuis, qu'il accusait d'avoir voulu percer la terre de part en part, en sorte que nous aurions vu nos antipodes en nous penchant sur le bord du puits de cet antagoniste de l'irascible roi de la littérature. Personne ne niera aujourd'hui qu'il ne soit possible de faire descendre des galeries de mines à des profondeurs de plusieurs kilomètres, quand on a à sa disposition le choix du terrain, des dimensions convenables et le temps, surtout ! Les tunnels que les Américains forent à la vapeur dans les rocs les plus durs sont des œuvres bien autrement difficiles. Eh bien ! arrivons à 4 kilomètres seulement sous terre et déblayons-y un local suffisant. Si les hommes n'en peuvent supporter la chaleur, les machines ne seront pas si délicates. Nous voici en possession d'un vaste local dont les parois sont à la chaleur de nos fours et de nos étuves. Amenons-y un ruisseau, une petite rivière, elle en sortira plus chaude que l'eau bouillante et sera une vraie mine de chaleur, comme les précieuses couches de charbon de terre de l'Angleterre et de la Belgique. »

sphéroïde se liquéfierait et se solidifierait contre les parois du globe actuellement existantes. Alors son centre de gravité serait invariable, et probablement que la terre n'aurait plus qu'un mouvement de rotation analogue à celui de son satellite, c'est-à-dire qu'un été et un jour sans fin seraient le partage d'un hémisphère, tandis que des ténèbres éternelles régneraient dans l'autre.

Mais que cette épouvantable catastrophe se produise d'une façon ou d'une autre, son résultat nécessaire sera l'extinction totale de toutes les races d'animaux actuellement connues. D'autres races leur succéderont-elles, et la race humaine, en particulier, sera-t-elle remplacée par une autre race moins imparfaite que la nôtre? L'analogie dit oui; mais Dieu seul peut savoir si l'analogie nous trompe.

J'ai dit que beaucoup de savants étaient dans la plus parfaite quiétude sur l'état futur du globe. Il est juste d'en excepter deux géologues éminents, MM. Élie de Beaumont et A. Passy.

M. A. Passy, dans sa *Description géologique du département de la Seine-Inférieure*, dit, page 4 : « Les causes qui ont produit » la première écorce de la terre, et qui ont bouleversé plusieurs » fois sa seconde enveloppe, pour être restreintes dans leurs ef- » fets, ne sont point épuisées. »

M. Élie de Beaumont, cité dans le même ouvrage, page 226. s'exprime comme il suit : « Il serait donc impossible d'assurer » que la période de tranquillité, si stable en apparence, dans la- » quelle nous vivons, ne sera pas quelque jour interrompue par » l'apparition d'une grande chaîne de montagnes. » J'ajoute ... et par la naissance d'un ou de plusieurs satellites.

Aérolithes.

« L'ignorance est un frein qui tient
» l'homme sous la main de Dieu. »
(Viau, d'Harfleur.)

D'après ce qui précède, je n'aurais que peu de chose à dire des aérolithes, si je ne voulais pas faire connaître les différentes opinions qui ont été émises sur leur origine. On peut présumer

qu'ils proviennent des éruptions volcaniques du soleil qui se font parallèlement ou obliquement à son axe de rotation. Ce qui corrobore cette opinion, c'est leur exiguïté et la propriété qu'ils ont d'être lumineux par eux-mêmes : or, c'est là une propriété qui appartient exclusivement au soleil dans notre système planétaire. Voici comment j'ai pu constater ce fait important. C'était le 2 novembre 1840, à 8 heures 22 minutes du soir ; le temps était beau et la lune brillait sur l'horizon. Je me trouvais à moitié route environ d'Evreux à Pacy-sur-Eure ; je vis un bolide se détacher du ciel à une distance qui me parut double de celle de la lune à la terre : il me sembla qu'il se dirigeait vers notre planète ; mais en passant dans le voisinage de la lune et après être descendu plus bas que ce satellite, il décrivit une courbe dont la convexité était tournée vers la terre, se dirigea vers la lune, et disparut à mes yeux.

Il résulte de cette observation : 1° que ce bolide était, au commencement de sa course, à plus de 60,000 myriamètres de la terre, conséquemment qu'il n'était point lumineux aux dépens de sa combustion dans l'atmosphère de notre planète ; et 2° que ce bolide est tombé sur la lune. C'est peut-être la première observation de ce genre qui ait été faite. On avait conjecturé de la chute des aérolithes sur la terre, qu'il devait en tomber sur les autres planètes et sur la lune, mais aucun fait, que je sache, n'était venu confirmer ces conjectures.

Les aérolithes ont été observés dès la plus haute antiquité (1). Quelques géologues prétendent qu'il n'en tombait pas avant le déluge, mais cette opinion n'est fondée que sur un fait négatif. On n'a pas trouvé d'aérolithes dans le terrain antédiluvien,

(1) « Et lorsqu'ils fuyaient devant les enfants d'Israël, et qu'ils étaient dans la descente de Béthoron, le Seigneur fit tomber du ciel de grosses pierres sur eux jusqu'à Azéca ; et ces pierres qui tombèrent sur eux en forme de grêle, en tuèrent beaucoup plus que les enfants d'Israël n'en avaient tué par l'épée. » (*Liv. de Josué*, chap. x, v. 11.)

Cette pluie d'aérolithes aurait eu lieu 1439 ans avant Jésus-Christ, ou, ce qui revient au même, il y a 3296 ans.

On n'a pas oublié en Normandie la chute de nombreux aérolithes, en 1803, dans les environs de Laigle (Orne).

disent-ils, donc il n'en tombait pas avant le déluge. Cette conséquence me paraît un peu forcée, car les aérolithes ne sont pas aussi communs que les rognons de silex, et le terrain antédiluvien exploré jusqu'à ce jour n'est rien en comparaison de ce qui reste à explorer.

Laplace pense que les aérolithes proviennent des volcans lunaires, et MM. Biot et Poisson ont calculé que cela n'était point impossible, en supposant aux volcans de la lune seulement la vitesse des volcans terrestres.

J'ai cherché à établir, un peu plus haut, qu'il n'y avait jamais eu de volcans dans la lune, quoiqu'elle ait une origine volcanique, que l'équilibre de chaleur était établi dans ce satellite, qu'il était *mort*, et qu'aucun mouvement n'existait plus dans sa masse.

Mais l'opinion de ces savants est précieuse pour moi, car elle sanctionne, pour ainsi dire, tout ce que j'ai dit sur l'origine des planètes et des satellites.

En effet, la lune n'est que la 49e partie de la terre, et l'on admet sans difficulté qu'elle ait pu nous lancer un bolide de 20,000 kilog. (1) ! Et l'on ne voudrait pas admettre que le soleil, qui égale 68,600,000 lunes, pût lancer des masses plus considérables! Tout le monde pensera, je l'espère, que les probabilités sont toutes en faveur du soleil, qui est évidemment, lui, à l'état d'incandescence ou à l'état volcanique. On objectera, il est vrai, que la lune n'est qu'à 38,000 myriamètres de la terre, et que le soleil en est à 15,300,000 myriamètres. Mais ici la proportion est encore en faveur du soleil, et l'objection est sans valeur.

« Lagrange et Gay-Lussac pensent que les aérolithes sont » de petites planètes qui ont échappé jusqu'alors à nos re» gards (2), et qui, venant à s'engager dans notre atmosphère, » éprouvent, par le contact de l'air, une élévation de température » capable d'en déterminer l'explosion. » (Mutel.)

Ainsi, les autorités les plus puissantes, les plus compétentes,

(1) M. de Humboldt a observé dans la Nouvelle-Biscaye une masse de fer natif de ce poids, que l'on croit tombée de l'atmosphère.

(2) Comme les satellites de Mars.

se réunissent pour accréditer la cosmologie que j'ai vue dans les sphéroïdes de laboratoire.

On a imaginé une autre origine des aérolithes, et celle-ci ne me paraît pas mériter une grande confiance : on a supposé que le gaz hydrogène, qui a la propriété de dissoudre quelques métaux, pouvait les dissoudre tous ; qu'un mélange de ces alliages s'élevait dans les hautes régions de l'atmosphère, où l'étincelle électrique les enflammait, et que toutes les particules métalliques se réunissaient pour former un solide qui tombait sur la terre en vertu de la pesanteur.

Un géologue d'un grand mérite a émis encore une autre opinion sur les aérolithes. Il a supposé que la terre avait rencontré dans sa course une autre planète que le choc aurait brisée en éclats (1). Deux phénomènes importants seraient résultés de ce choc : 1° les éclats de la planète auraient été projetés dans l'espace ; 2° le mouvement de rotation de la terre aurait été arrêté, et ses pôles auraient été presque retournés, elle aurait fait plus d'un quart de tour, suivant le plan du méridien.

Le premier phénomène n'est point impossible ; mais il n'a pas eu lieu, car s'il eût eu lieu, il serait resté sur la terre des traces de ce choc, ainsi que la plus grande partie des fragments de la planète, et l'on en aurait découvert au moins quelques-uns. Quant au déplacement des pôles, les astronomes soutiennent qu'il est impossible, et ils donnent à l'appui de cette opinion des raisons si concluantes et si péremptoires, qu'on ne peut pas hésiter un seul instant à se ranger à leur avis. Cette théorie, comme on le voit, n'est pas exacte d'une part ; de l'autre, elle est impossible. On ne peut donc pas l'admettre.

Ainsi, dans mon système tout dérive de la même cause. Les planètes, les bolides, les aérolithes, etc., sont enfants du soleil, comme les satellites le sont de leurs planètes respectives (2).

(1) Ce choc, selon ce géologue, aurait été la cause du déluge, du transport des blocs erratiques, du creusement des vallées, etc.

(2) Cette origine solaire, que j'attribue à tous les corps de notre système planétaire, est une opinion fort ancienne : quelques philosophes grecs l'ont émise ; mais ce n'était alors qu'une hypothèse, tandis qu'aujourd'hui c'est une théorie déduite de nombreux faits de laboratoire.

Mais, dira-t-on, si tous les corps de notre système planétaire sont originaires du soleil, d'où vient le soleil ? D'un soleil plus volumineux dont le nôtre ne serait qu'une planète ou seulement un satellite. Et cet autre? D'un troisième. — Et après? Après?... Dieu imprimant le mouvement et la vie, donnant des lois à tout et partout.

Quoi qu'il fasse et quoi qu'il cherche, l'homme le plus audacieusement orgueilleux finit toujours par être forcé de courber la tête devant l'incompréhensible puissance du législateur suprême des mondes!

Mais, dira-t-on encore, il a fallu qu'une vitesse prodigieuse animât les fragments du soleil pour être portés aux distances planétaires, et cette vitesse ne dut pas être moins grande pour qu'un fragment de la terre fût projeté dans l'espace et devînt son satellite. Nul doute qu'une énorme puissance ne fut nécessaire pour de tels résultats, mais nous voyons tous les jours, sous nos yeux, sans y faire attention, s'accomplir des résultats plus extraordinaires.

La charge d'une carabine peut porter une balle à 600^{m} de distance. Admettons que le diamètre de la balle soit de 0^{m},015, et nous trouvons qu'elle a parcouru un espace égal à 40,000 fois son diamètre. Or, la lune n'est éloignée de la terre, en chiffres ronds, que de 109 fois son diamètre; donc l'espace parcouru par la balle est plus surprenant, plus incroyable que l'espace qui aurait été parcouru par la lune, projetée dans l'espace par une explosion volcanique du globe.

Mais si nous comparons la charge de la carabine avec le poids de la balle, et la masse de la terre avec celle de la lune, les résultats sont encore plus tranchés. En effet, le poids de la poudre n'atteint pas la moitié du poids de la balle, et *la masse de la terre est en chiffres ronds quatre-vingts fois celle de la lune* (1).

On me dira qu'il n'y a pas, qu'il ne peut pas y avoir de poudre dans les profondeurs du globe, et en cela on a raison; mais que savons-nous des ressources de la nature? N'y a-t-il pas mille

(1) La masse de la terre est à celle de la lune :: 1 : 0,0123172. En retranchant les trois dernières décimales, on a le rapport que j'ai donné.

autres combinaisons détonantes qui peuvent se former par la combinaison des éléments ? Nous en connaissons qui se forment à froid et qui ne sauraient se former à chaud, et *vice versâ*. (*Voy. la* 84[e] *expérience.*)

Et sans chercher des combinaisons détonantes, ne saurait-on trouver dans l'eau la cause toute simple, toute naturelle de la formation des montagnes par voie de soulèvement, et de la projection d'une énorme montagne dans l'espace, qui sera devenue ensuite le satellite de la terre ? De grandes masses d'eau n'ont-elles pas pu arriver par des crevasses jusqu'à la masse incandescente du globe (1), y passer à l'état sphéroïdal, et plus tard repasser à l'état liquide et donner subitement naissance à des torrents de vapeur et au développement d'une incommensurable puissance (2) ?

N'est-il pas logique d'admettre que le passage de l'état sphéroïdal de l'eau à l'état liquide, et ensuite à l'état de vapeur, ne soit une des causes puissantes des éruptions volcaniques ? Cela ne comporte pas, à mon avis, le moindre doute.

Du reste, si je cherche à expliquer la formation des planètes en général, et les bouleversements de la nôtre en particulier, par le développement subit d'énormes quantités de gaz, ce n'est que pour satisfaire à toutes les exigences ; car, pour moi, tout se réduit à une grande amplitude et à une grande vitesse des vibrations du noyau incandescent, ce qui n'exclut pas l'action secondaire de l'eau. (*Voy. les* 38[e] *et* 63[e] *expériences et la* 3[e] *partie* § *I et V*) (3).

Un mot encore.

Si l'on n'admet pas le déchirement et la projection d'une partie du globe dans l'espace, on ne peut pas expliquer d'une ma-

(1) Voyez Rognetta, *Annales de thérapeutique et de toxicologie*, année 1845, page 285.

(2) Tout ce que l'on a vu dans cet ouvrage établit la possibilité de la présence de l'eau dans les volcans. Cela étant, l'existence de l'eau dans quelques substances d'origine volcanique, telles que les zéolithes, n'a plus rien de surprenant ni d'embarrassant. C'est encore une difficulté que l'état sphéroïdal fait disparaître comme par enchantement.

(3) D'après Aristote, tous les phénomènes de la nature seraient dus au *mouvement*, et je suis entièrement de cet avis.

nière satisfaisante le creusement du bassin des mers ; tandis qu'il s'explique naturellement en admettant cette projection d'un quarante-neuvième de la terre qui forme aujourd'hui la lune ; et cela milite puissamment en faveur de mon opinion sur l'origine des planètes et de leurs satellites, et généralement de tous les corps célestes.

Je dois faire remarquer, en terminant cet ouvrage, que l'état sphéroïdal place l'observateur en présence de la nature, *telle qu'elle est*, en présence des grandeurs et des magnificences de la création.

On se rappelle que l'équilibre de chaleur ne s'établit jamais entre les corps à l'état sphéroïdal et les vases qui les contiennent, et l'on sait que cet équilibre n'existe nulle part dans la nature.

Il résulte, en effet, des recherches de M. Pouillet, que la température des espaces planétaires peut être évaluée à — 142°, et celle de la limite de notre atmosphère à — 60°. Si des hauteurs de l'atmosphère on descend, par la pensée, sur les montagnes de l'équateur, on les trouve couronnées de glaces éternelles, et au bas de ces montagnes on voit sourdre des eaux thermales. Les pôles de la terre sont enveloppés de glaces, et les volcans qui les avoisinent lancent des matières en fusion. La température moyenne de la surface de la terre varie avec la latitude, mais la température propre du globe augmente en général, au fur et à mesure que l'on pénètre plus avant dans son intérieur ; et c'est ce qui a fait supposer avec beaucoup de raison que la plus grande partie de la terre était encore à l'état de fusion ignée.

Et l'hypothèse d'Herschell sur la constitution physique du soleil, confirmée de la manière la plus éclatante et la plus inattendue par l'état sphéroïdal, ne corrobore-t-elle pas puissamment mon opinion sur le défaut d'équilibre de chaleur dans la nature? (*Voy. expér.* 25° *et* 35°, *et le* § *Cosmologie*, p. 247.)

Ainsi donc, point d'équilibre de chaleur dans la nature ; ainsi donc, l'étude de l'état sphéroïdal ouvre des voies inconnues aux expérimentateurs, des voies dans lesquelles ils peuvent marcher aujourd'hui d'un pas assuré avec la presque certitude d'y faire d'immenses découvertes.

Quant à l'équilibre de chaleur et à l'équilibre de tension, ils ont fait leur temps et donné tout ce qu'ils pouvaient donner dans les mains des puissants génies qui les ont si longtemps et si profondément étudiés.

L'équilibre de chaleur est d'ailleurs, comme nous l'avons vu, un fait de cabinet, un fait étroit et borné comme tout ce qui sort de l'esprit de l'homme, et qui n'a rien de commun avec les lois de la nature.

Si, d'un autre côté, nous considérons la forme de la matière organique et inorganique, nous la trouvons, depuis le tissu vivant le plus microscopique jusqu'aux corps planétaires les plus volumineux, partout et toujours la même : c'est la forme arrondie ou sphéroïdale. (Voy. p. 281.)

Les perfectionnements apportés dans les microscopes ne nous montrent-ils pas notre épiderme composé entièrement de sphéroïdes? forme moléculaire que nous retrouvons aussi dans toutes les parties de l'animal et du végétal vivants. Et cette forme, dans ces deux derniers règnes, ne vient-elle pas en aide à l'explication que l'on peut donner ici des pertes si lentes de liquide et de calorique dans le végétal et dans l'animal (1)?

Je puis donc le répéter avec vérité, l'état sphéroïdal place l'observateur en présence des grandeurs et des magnificences de la nature.

Les savants qui n'auront pas vérifié mes expériences, ou qui ne s'en seront pas bien pénétrés, trouveront que j'ai été hardi et que je suis allé bien loin dans le champ de la spéculation ; mais ceux qui les auront répétées et qui en auront ajouté de nouvelles, trouveront certainement que je suis resté en deçà des bornes du possible.

Du reste, si les vues théoriques que j'ai émises ne sont pas jugées rationnelles, qu'on en propose de plus satisfaisantes, et je serai le premier à y applaudir.

Et si je me suis trompé, il m'est permis d'espérer qu'on me

(1) Voyez les ouvrages si remarquables de Donné, de Raspail, de Mandl, de Gruby, etc. Ce dernier observateur a démontré que tous les tissus organiques ont pour point de départ une cellule sphérique.

pardonnera, car « il n'est pas étonnant que l'on fasse quelques » faux pas dans des routes inconnues, et que l'on se trace soi-» même. » (Fontenelle.)

Quant aux expériences proprement dites, je n'ai pas la prétention de croire que leurs résultats soient définitivement acquis à la science, tels qu'ils sont, et qu'aucunes modifications n'y seront apportées. Je crois, au contraire, qu'elles seront modifiées avec le temps qui modifie tout; elles auront le sort qui a été, dès l'origine, réservé aux œuvres de l'homme, dont la nature est de ne rien finir.

Météorologie.

« Les idées neuves gênent l'intelligence. »
(Vacquerie.)

M. A. Poey, de la Havane, a adressé à l'Académie des sciences (1) un mémoire sur les *Caractères physiques des éclairs en boule et sur leur affinité avec l'état sphéroïdal de la matière.* Ce mémoire a été publié par le journal *la Science*, du 7 juin 1855; je le reproduis en entier, il servira de tête aux faits et aux théories qui pourront se produire en météorologie.

Désirant tracer avec précision les caractères les plus saillants et les plus constants des *éclairs en boule*, je fus très surpris, après avoir consciencieusement analysé une multitude de détails rapportés par les observateurs, de trouver tant de faits et tant d'anomalies si inexplicables, je dirai même si extraordinaires, que j'en fus vivement frappé. Cependant, trois faits principaux ayant attiré toute mon attention, à savoir: *la sphéricité des boules, l'absence de chaleur et le manque de contact avec les corps environnants*, je crus que je ne pouvais mieux rattacher ce météore qu'aux lois connues qui régissent l'*état sphéroïdal* de la matière.

Devant ces trois propriétés si extraordinaires des éclairs en boule, M. Arago avait bien raison de dire que « ces globes de feu sont aujourd'hui une pierre d'achoppement pour les météorologistes théoriciens de bonne foi, et que les paratonnerres les mieux établis se montrent souvent inefficaces contre eux. »

(1) *Comptes rendus*, t. XL, p. 1183.

Ensuite il ajoute : « Ces boules, ces globes de feu semblent des agglomérations de substances pondérables, fortement imprégnées de la matière de la foudre. Comment se forment de telles agglomérations? Dans quelles régions sont-elles nées? D'où proviennent les substances qui les composent? Quelle en est la nature? Pourquoi s'arrêtent-elles quelquefois pendant un temps assez long pour se précipiter ensuite avec une grande rapidité, etc., etc.? Devant toutes ces questions, *la science reste muette* (1). »

Cependant, sans vouloir pénétrer les mystères incompréhensibles des phénomènes de la foudre, j'espère plutôt pouvoir jeter quelque lumière qui, peut-être, nous rendra compte de ce que nous appelons les anomalies, les bizarreries d'un agent qui obéit à des lois immuables de la nature physique, mais à des lois encore inconnues.

Dans le domaine de nos connaissances physiques, je n'ai trouvé que les propriétés dont jouit la matière à *l'état sphéroïdal*, qui puissent se rattacher à celles qu'on observe dans les éclairs en boule. Je tâcherai donc de faire ressortir les points de contact que j'ai trouvés entre ces deux ordres de phénomènes, et j'exposerai quelques principes théoriques que j'ai eu soin, autant que possible, de baser sur l'observation même des caractères qu'offre le météore.

M. Boutigny (d'Évreux) a prouvé par ses recherches:

1° Que tous les corps peuvent passer à l'état sphéroïdal;

2° Qu'il n'y a point de contact entre les corps à l'état sphéroïdal et les surfaces qui les font naître;

3° Que les corps à l'état sphéroïdal jouissent d'un pouvoir réflecteur presque absolu à l'égard du calorique;

4° Que les corps à l'état sphéroïdal sont maintenus au delà du rayon de l'action chimique, non par leur propre vapeur, mais par une force répulsive que la chaleur développe dans les corps;

5° Qu'une force attractive s'exerce entre toutes les molécules d'un corps à l'état sphéroïdal, qui fait qu'il se comporte

(1) *Œuvres d'Arago*, tome I des *Notices scientifiques*, p. 38 et 219.

comme s'il était réduit à un point matériel isolé dans l'espace;

6° Qu'un corps fondu reste incandescent pendant quelque temps, même au milieu de l'eau, sans que celle-ci donne des indices d'ébullition, comme si l'on y eût projeté un morceau de glace (1).

Ces six principales propositions, démontrées par M. Boutigny, embrassent presque en totalité tout le principe du quatrième état sphéroïdal de la matière. Eh bien, on peut voir que la sphéricité de ce nouvel état, sa longue durée d'incandescence au milieu des corps avec lesquels le contact ne s'établit point, et la basse température que le sphéroïde conserve, sont précisément des propriétés que nous retrouvons dans les éclairs en boule. S'il est bien démontré, comme personne ne le mettra en doute, qu'il n'y a que l'état sphéroïdal de la matière qui jouisse de ces propriétés si remarquables, et dont participent également les éclairs en boule, pourquoi alors ne pas rattacher à cet état sphéroïdal un phénomène qui présente les mêmes caractères et que la physique n'a pu expliquer jusqu'ici?

Parmi les caractères physiques que j'ai donnés sur les éclairs en boule, j'ai signalé qu'ils prennent toutes les nuances de l'arc-en-ciel, depuis le blanc mat jusqu'au rouge foncé, que leurs couleurs varient depuis un jaune rougeâtre jusqu'à un rouge plus ou moins foncé, parfois d'un rouge blanchâtre, violet et aurore. J'attribue le changement de couleur de ces boules de feu à la même cause physique qui produit les couleurs des plaques minces ou les anneaux colorés de Newton et de Nobili. Alors la couleur de la boule varierait selon l'épaisseur de ses parois solides.

Plus la boule sera incandescente plus sa durée sera prolongée et son élasticité plus grande, par la force répulsive de sa radiation, qui l'écarte des objets environnants. Mais aussitôt que l'équilibre de température tendra à s'établir avec l'air ambiant, la boule sera prête à éclater. C'est ce qui a lieu quand elle éclate en l'air et qu'elle s'enflamme. On peut reconnaître cet état prêt à éclater par l'aigrette qu'elle porte sur un point de sa périphérie et qui lui donne l'aspect d'une bombe munie de sa mèche.

(1) *Nouvelle branche de physique ou Études sur les corps à l'état sphéroïdal.* Paris, 1847, 2e édition, p. 211.

Du reste, j'ai remarqué dans les nombreuses descriptions des éclairs en boule que j'ai examinées, que lorsque la boule était munie de la petite aigrette, ou elle éclatait en l'air avant de toucher le sol, ou peu de temps après ; d'un autre côté, toutes les boules bien sphériques qui rebondissent avec élan et dont la durée est très prolongée ne portent point la petite aigrette et éclatent en se heurtant contre quelques corps bons conducteurs. D'où j'ai conclu que cette aigrette était une marque de l'affaiblissement des parois de la boule, dû à un refroidissement trop rapide ou à la température plus basse dont elle jouissait lors de sa formation. Des deux manières qu'on voudra interpréter ce fait, il n'en est pas moins vrai que plus l'équilibre de température s'établira facilement, plus la durée de la boule sera petite.

J'ai dit aussi que ces boules parfois éclatent et se partagent en un très grand nombre de plus petites boules. J'attribue cet autre fait à la force expansive dont jouit la chaleur sous ce nouvel état sphéroïdal. Si la boule de feu possède une grande amplitude de vibration, elle éclate en morceaux et projette des fragments de feu qui participent des mêmes propriétés du tout.

Dans aucun des exemples d'éclairs en boule relatés par les auteurs on ne trouve que les fragments détachés d'une boule se soient réunis de nouveau, ou même rapprochés. Cette remarque, qui n'a point attiré l'attention des observateurs, mais qu'ils auraient indiquée, si le fait avait eu lieu, s'expliquerait par la loi suivante de M. Boutigny : « Les corps à l'état sphéroïdal sont maintenus au delà du rayon de l'action chimique, non par leur propre vapeur, mais par une force répulsive que la chaleur développe dans les corps. » Et par cette autre loi : « Qu'il n'y a point de contact entre les corps à l'état sphéroïdal et les surfaces qui les font naître. »

C'est par la même cause que les éclairs en boule n'ont point de contact avec les corps sur lesquels celles-ci rebondissent, ne donnent lieu à *aucune sensation de chaleur*, et en traversant, par exemple, une meule de foin, la percent d'outre en outre sans l'enflammer.

Après avoir signalé l'intime rapprochement qui existe entre

les caractères que présentent les éclairs en boule et ceux de la matière à l'état sphéroïdal, il resterait encore à chercher la cause qui engendrerait cet état et donnerait lieu à cette boule lumineuse.

On sait qu'il existe des rapports tellement intimes entre la chaleur et l'électricité, que l'une accompagne la production de l'autre, et *vice versâ*. Lorsque dans le sein d'un nuage orageux l'équilibre électrique vient à se rompre, le dégagement électrique qui a lieu est accompagné d'une grande production de calorique (1). La quantité d'électricité restée libre, qui n'a pu se recomposer, s'écoule et se condense autour des corps gazeux, liquides et solides, qui se trouvent en suspension et agglomérés dans le sein des nuages. C'est alors que la force répulsive du calorique qui s'est produit par la décomposition des deux fluides, réduit à l'état sphéroïdal la matière électrique restée libre, ainsi que les corps pondérables qu'elle entoure. Cette boule, ainsi formée, sera lancée à terre par une légère impulsion qu'elle aura reçue au moment du changement moléculaire qui s'est opéré dans la matière, ainsi que par son propre poids. Ainsi l'éclair en boule serait le résultat de la condensation du fluide électrique qui se précipiterait vers un milieu plus ou moins raréfié. La pression exercée par l'air environnant ce milieu sur l'électricité restée libre, ainsi qu'un changement de polarité dans les atomes électriques pourrait également déterminer la forme sphérique de l'éclair en boule.

Alors le rayonnement du calorique dans ce cas-ci ou l'interposition d'une résistance quelconque dans une direction déterminée, dans d'autres circonstances, déterminerait par une légère inflexion la condensation du fluide électrique sous la forme sphérique. C'est ainsi qu'on a vu la foudre, après avoir éclaté l'écorce d'un

(1) M. Quet, en faisant agir sur l'arc de Davy un électro-aimant très énergique, a pu transformer la colonne de lumière en un dard long, bruyant, d'une chaleur très intense, semblable à celui du chalumeau. La chaleur de ce dard est capable de fondre le platine. *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. XXXIV, 1852, p. 805.

arbre, prendre la forme d'un globe de feu, ou au moment de se détacher d'une barre de fer, par où elle s'était frayé un passage, comme dans le cas de la boule de feu qui frappa à mort Richmann en 1753.

Par la chute et la propagation généralement lente de ces boules, ainsi que par la propriété dont elles jouissent de s'élever de nouveau en l'air, d'être entraînées par un courant d'air et de rebondir sur le sol, comme une balle élastique, je suis conduit à établir que ces boules ne se composent point d'une matière compacte et solide, mais qu'elles sont plus ou moins creuses et remplies de quelque gaz léger qui s'est condensé à l'intérieur, lors de leur formation, peut-être l'hydrogène, lequel par sa nature inflammable et la durée de sa flamme produirait également en se combinant avec le fluide électrique, les aigrettes, les jets et les traînées lumineuses qui accompagnent souvent ces météores, en leur donnant l'aspect d'une comète, avec laquelle les anciens les ont souvent confondus. En un mot, ces boules fonctionneraient comme un aérostat dont l'élasticité tiendrait à la répulsion du calorique.

Il est à remarquer que tous les caractères que je suppose à ce ballon incandescent existent réellement dans les éclairs en boule, comme on peut le voir par la description que j'ai donnée. Maintenant il ne reste plus qu'à prouver l'idée que j'ai avancée, que ces boules doivent former une sphère creuse et non un corps compacte et solide. Sans entrer dans d'autres considérations, je ferai l'observation suivante: peut-on concevoir qu'une boule qui est grosse comme le poing ou comme une orange, et qui atteint jusqu'à la grandeur apparente de la lune, et même un mètre de diamètre, ne se précipite point à terre avec la vélocité qu'exigerait son poids spécifique selon la loi de la chute des corps, si elle formait une masse compacte, ainsi que c'est le cas pour la grêle, qui est peut-être mille fois plus petite, mais dont les plus petits grains tombent presque toujours verticalement, s'ils ne sont point trop contrariés par de forts courants d'air, et avec une très grande vélocité comparée à celle des éclairs en boule? Le plus petit grain de grêle pourrait-il par lui-même se relever et disparaître en l'air

comme les éclairs en boule ? Mais comme il n'en est point ainsi, je conclus que cette sphère doit être plus ou moins creuse, formée d'une matière très légère, et se comporter en l'air comme un ballon, ainsi qu'on l'observe.

Il est probable que ces boules de feu, au moment de leur formation, ont été soumises aux mêmes lois qui caractérisent leur état moléculaire, ainsi formulé par M. Boutigny : « Les volumes des sphères des corps à l'état sphéroïdal sont en raison inverse de leurs poids spécifiques, et leurs masses sont égales entre elles. »

Ne pourrait-on pas rapprocher également la formation de la grêle dans les nuages orageux des expériences si surprenantes de M. Boutigny, qui, dans le fond d'une capsule chauffée à blanc, transforme l'acide sulfureux et l'eau en un glaçon ? Du reste, cette production de la glace au milieu du feu ne ferait qu'activer et condenser en un noyau plus volumineux les flocons de neige et les cristaux de glace dont l'existence dans les hautes régions de l'atmosphère n'est plus douteuse. Je ne doute point qu'une nouvelle théorie de la grêle, fondée sur l'état sphéroïdal de la matière, ne prenne rang parmi celles de Volta et d'autres physiciens, mais dont aucune ne tient compte de toutes les circonstances du météore.

Je terminerai cette note en proposant aux météorologistes de rayer du chapitre des éclairs un météore qui n'a aucune analogie avec un éclair proprement dit, comme les éclairs diffus ou les linéaires en zigzag. Comme ces boules de feu ressemblent plutôt, ainsi que l'observe très bien M. Arago, à une agglomération de substances pondérables fortement imprégnées de la matière de la foudre, et que, d'un autre côté, elles ont jusqu'ici les plus grands rapports avec l'état sphéroïdal de la matière, je proposerai, en second lieu, de les nommer *foudre sphéroïdale.*

Dans la première édition de cet ouvrage j'avais émis aussi l'opinion que la grêle pourrait bien avoir l'origine que M. A. Poey lui assigne ; mais cette théorie ne se formulait pas assez nettement dans mon esprit, et je l'ai abandonnée. Je dois ajouter que mes doutes ne sont pas entièrement dissipés.

Origine de la houille.

« Plusieurs géologistes regardent la houille
» comme provenant de la décomposition des
» corps organisés enfouis dans le sein de la
» terre; mais d'autres objectent à cette opinion:
» 1° qu'on trouve souvent, au milieu des cou-
» ches de houille, des végétaux à peine decom-
» posés; 2° qu'il n'est pas démontre que les
» corps organisés donnent des matières grasses
» dans leur décomposition spontanée : *D'où*
» *l'on doit conclure que nous ignorons encore*
» *l'origine de cette sorte de substance.* »

THENARD.

On lit ce qui suit à la page 295 de cet ouvrage :

« Ces carbures d'hydrogène, en se condensant et en passant à l'état sphéroïdal n'ont-ils pas pu se comporter comme nous l'avons vu dans la 95e *expérience* (1)? Pour moi, cela ne saurait être douteux. Plus tard ces dépôts de carbone hydrogéné, ces houilles proprement dites, ont reçu dans leur sein, transportés par les courants, les végétaux que l'on y remarque aujourd'hui, et se les sont assimilés; puis, le tout a été recouvert par des inondations successives dont le passage de l'eau de l'état sphéroïdal à l'état liquide, nous explique la cause.

(1) 95e *Expérience.* Les huiles volatiles, à l'état sphéroïdal, se comportent toutes de la même manière, en ce sens que la proportion de carbone va toujours croissant dans le sphéroïde. Les produits qui se volatilisent diffèrent entre eux comme les huiles elles-mêmes. On conçoit qu'une huile oxygénée doive donner d'autres produits qu'un carbure d'hydrogène.

Je ne décrirai ici que l'expérience faite avec l'essence de térébenthine, sauf à revenir sur chacune d'elles quand je reprendrai un à un l'étude des corps à l'état sphéroïdal.

En faisant passer l'essence de térébenthine à l'état sphéroïdal à la température la plus basse possible, elle se volatilise lentement sans donner des vapeurs apparentes, et se colore lentement aussi depuis le jaune le plus clair jusqu'au jaune brun. Alors les vapeurs deviennent apparentes; elles contiennent du noir de fumée en suspension; la couleur de l'essence se fonce de plus en plus; elle est brune, noirâtre; des signes d'ébullition se manifestent dans le sphéroïde, il s'étale sur la capsule et y forme un vernis noir très riche en carbone, mais contenant encore de l'essence: c'est une véritable houille artificielle.

Le naphte et le pétrole se comportent comme l'essence de térébenthine.

Cette hypothèse sur la formation de la houille, qui est seulement indiquée ici, a sur celles qui l'ont précédée un avantage réel, c'est d'être confirmée par la synthèse. (Voyez l'*expérience* précitée.)

Quant à l'hypothèse généralement admise par les géologues, elle est repoussée par les chimistes, et je trouve qu'ils ont raison, car elle ne satisfait pas à toutes les conditions du problème. Comment expliquer, en effet, l'existenee de « ces portions isolées » de houille, qui, reposant sur le granit et autres roches hypo- » gènes, sont entièrement dépourvues de fossiles marins. Ces cou- » ches, assez ordinairement, ne s'étendent que sur un espace très » borné, ainsi que l'on peut en juger à Saint-Étienne, département » de la Loire; à Brassac, dans celui de Puy-de-Dôme; à Sarrebruck, » en Silésie, *et en cent autres lieux.* » (Lyell, *Éléments de géologie*, 1839, page 514.)

Comment expliquer la stratification des terrains houillers, presque toujours en forme de *fond de bateau*, ou de *cul de chaudron*, si l'on n'admet pas que les houilles ont été originairement à l'état liquide? Et puis, la conversion des bois en houille est-elle démontrée? Nullement. Il est vrai que les expérienees de M. Cagniard de Latour établissent que le ligneux peut être réduit, par l'action combinée d'une haute température et d'une grande pression, en une sorte de bitume semi-liquide. Mais, dans ces sortes d'expérienees, le ligneux est soigneusement soustrait à l'aetion de l'air, et, d'après Liebig, le concours de l'atmosphère est néeessaire à la conversion du ligneux en houille; il faut qu'il perde une certaine quantité de carbures d'hydrogène à l'état de gaz, ou autrement, d'eau et d'acide carbonique.

Voici la formule à l'aide de laquelle cet illustre chimiste établit la formation de la houille :

Composition du bois		$C^{36} H^{44} O^{22}$
— de 3 atomes de gaz des marais	$C^{3} H^{12}$	
— de 3 atomes d'eau	$H^{6} O^{3}$	$= C^{12} H^{18} O^{21}$
— de 9 atomes d'acide carbon....	$C^{9} O^{18}$	
Reste pour la houille		$C^{24} H^{26} O$

et c'est la composition que MM. Regnault et Richardson assignent au splint coal de Newcastle et au cannel coal du Lancashire.

Si la théorie que l'on déduit des expériences de M. Cagniard de Latour est vraie, celle de M. Liebig ne saurait l'être, et réciproquement.

L'une ou l'autre de ces théories, quoique satisfaisante, ne cesserait-elle pas de l'être, si une troisième théorie établissait que la houille dérive d'autres corps combustibles que les végétaux? Assurément; et nous essaierons de montrer un peu plus loin que ce combustible minéral peut avoir une tout autre origine que celle qui lui a été attribuée jusqu'à présent.

La théorie actuelle de la formation des houilles est basée principalement sur deux faits : 1° la combustibilité des houilles, et 2° les empreintes nombreuses de corps organisés à leur surface.

Il est assurément très rationnel de faire dériver un corps combustible d'un autre corps combustible, mais on va voir qu'il y avait et qu'il y a encore, dans l'écorce du globe et à sa surface, d'autres corps combustibles que les corps organisés. Quant aux empreintes et aux fossiles de ces mêmes corps organisés, on en trouve dans toutes les classes de terrains, à l'exception des terrains primitifs et des terrains volcaniques; on ne saurait donc en tirer aucune conséquence relative à la formation des houilles. D'ailleurs ces empreintes de corps organisés se rencontrent principalement dans les parois des houillères, c'est-à-dire que ces témoins autrefois vivants, d'un autre âge, ne se trouvent qu'accidentellement à la surface des houilles, et sont postérieurs aux premiers temps de leur formation.

Voici maintenant la théorie que je propose et que je recommande à toute l'indulgence des géologues; ils comprendront tous qu'il faudra d'immenses recherches pour édifier complétement une pareille théorie, dont je n'offre ici qu'un aperçu très incomplet et très imparfait.

On peut supposer avec beaucoup de vraisemblance, sinon avec une entière certitude, que les molécules des corps simples étaient isolées dans les temps primitifs et tenues originairement hors de toute combinaison par leur haute température (état sphéroï-

dal) (1) ; plus tard, ces molécules se sont combinées deux à deux pour former des molécules binaires : carbures, sulfures, chlorures, bromures, iodures, oxydes, acides, etc. C'étaient des molécules composées du premier ordre (Berzelius).

Plus tard encore, ces molécules composées se combinèrent entre elles et donnèrent naissance aux molécules composées du second ordre et à toutes les combinaisons que nous offre la nature inorganique.

J'arrive maintenant sans transition à l'époque où la terre, suffisamment refroidie, put recevoir l'eau et les carbures d'hydrogène (naphte, pétrole) qui faisaient partie de son atmosphère. Ces diverses combinaisons purent passer d'abord à l'état sphéroïdal, puis à l'état liquide, et ensuite couler à la surface du sol ou en sourdre de toute part après l'avoir pénétré ; et c'est ici véritablement que commence l'exposé de la théorie que je soumets, non sans beaucoup de défiance de moi-même, au jugement des savants.

L'eau (2), le naphte et le pétrole descendaient simultanément des montagnes ou sortaient des profondeurs de la terre en sources plus ou moins volumineuses et parcouraient les vallées, jusqu'à ce que, rencontrant des cavités ou des bassins convenables, elles pussent y séjourner, y déposer les corps hétérogènes que ces torrents entraînaient avec eux, ensuite s'y évaporer ou s'y distiller en partie. De là une première stratification en *fond de bateau* ou

(1) Tout le monde connaît l'expérience que j'ai imaginée et qui consiste à plonger dans l'eau une petite masse de métal préalablement portée à la plus haute température qu'elle puisse supporter sans être fondue ; cette petite masse s'isole au milieu de l'eau et y reste incandescente pendant un certain temps, enveloppée d'une atmosphère de vapeur. (Voy. p. 41.)

En répétant et en variant cette expérience, le professeur Grove a décomposé l'eau en ses éléments, savoir : un volume de gaz oxygène et deux volumes de gaz hydrogène ; et ce savant n'a pas hésité, en présence de ce résultat, à conclure que : « s'il existe des planètes dont la constitution physique admette une chaleur intense, il est fort probable que leurs atmosphères et les substances qui les composent sont dans un état chimique totalement différent de la nôtre, et qu'ils sont résolus en ce que nous appelons les éléments, etc. »

(2) J'admets l'action de l'eau, mais elle n'est pas indispensable.

de *cul de chaudron.* Ensuite l'eau s'évaporait entièrement et une partie du carbure d'hydrogène s'évaporait aussi, une autre partie se dédoublait, absorbait l'air et commençait à se solidifier, d'où une première couche de future houille occupant la partie supérieure du dépôt, et une première couche de matières incombustibles occupant la partie inférieure de ce même dépôt.

Subséquemment, le même phénomène se reproduisait, et ainsi de suite pendant une période dont la durée ne sera bien connue que lorsque tous les gisements de houille seront également connus.

On objectera peut-être que toutes les couches de houille n'ont pas la même épaisseur, mais on peut répondre à cette objection que les influences météorologiques sont très variables, et que les sources et les pluies ne sont pas toujours également abondantes.

Serait-il donc si téméraire d'avancer qu'autrefois il a pu pleuvoir du naphte, du pétrole et beaucoup d'autres combinaisons, et que l'on comptait à cette époque reculée comme aujourd'hui des périodes de pluies abondantes, comme des périodes de grande sécheresse? Et cette supposition d'une pluie de pétrole ou de naphte n'est pas aussi gratuite qu'on pourrait le croire au premier abord, car elle est fondée sur la volatilité de ces carbures.

Du reste, sauf l'hypothèse d'une pluie de carbures d'hydrogène, les choses se passent encore aujourd'hui comme à l'époque dont il s'agit, et l'on voit dans toutes les parties du globe des sources de pétrole, soit pur, soit mêlé avec de l'eau, et l'on voit des houilles en voie de formation, c'est-à-dire des carbures d'hydrogène de tous les degrés, depuis le moins carburé jusqu'au plus riche en carbone, depuis le gaz des marais jusqu'à l'anthracite; on en voit qui sont entièrement liquides (naphtes), d'autres tout à fait solides (les houilles proprement dites, l'anthracite), et, entre ces deux termes extrêmes, des carbures d'hydrogène de tous les degrés de fluidité (huile de Gabian, pissasphalte, poix minérale, bitume de Judée, etc.).

On sait qu'il existe des gisements de houille, de bitume, de pétrole, par toute la terre; mais « les sources de pétrole les plus » considérables que l'on connaisse jusqu'à présent sont situées » près de l'Irâouaddi, dans l'empire Birman. On prétend que,

» dans une seule localité, il y a 520 puits qui fournissent chaque » année 400,000 muids de pétrole. » (Lyell, *Principes de géologie*, 2ᵉ partie, p. 145, 1845.)

Une des propriétés remarquables de ces carbures d'hydrogène, c'est de se dédoubler en s'évaporant et de fournir un résidu de plus en plus riche en carbone, dont le point d'ébullition va toujours en s'élevant ; mais ces phénomènes sont beaucoup plus sensibles quand le carbure est distillé à l'état sphéroïdal : il y a dédoublement et combustion lente, comme on l'a vu dans les expériences 95, 76, 75, 74 et 73ᵉˢ.

Unverdorben, en distillant du pétrole, a obtenu trois liquides dont le point d'ébullition était, pour le premier, + 95°; pour le second, + 112°,5, et pour le troisième, + 313°.

Il y a aussi absorption de l'air, et cette absorption est quelquefois si abondante que les carbures dont il s'agit se solidifient en peu de temps.

Tous ces faits étant admis, la formation de la houille par l'action combinée de la haute température de la terre et de l'air sur les carbures d'hydrogène se comprend facilement et d'autant plus, que les houillères fournissent encore aujourd'hui des carbures d'hydrogène liquides en petite quantité, et gazeux en trop grande abondance, car ils constituent ce que les mineurs nomment *feu grisou.*

Lorsque les carbures d'hydrogène liquides ou gazeux existaient abondamment à la surface de la terre, la végétation devait y être impossible. En effet, si l'on plonge un végétal dans une atmosphère exclusivement composée de carbure d'hydrogène, il périra ; si on l'arrose avec du naphte, il périra également ; mais brûlez ces carbures, et vous aurez fait un premier pas dans la vie, car il résultera de cette combustion de l'acide carbonique et de l'eau, qui sont, comme on sait, les deux principaux aliments de la végétation.

La theorie de la formation de la houille que je viens d'esquisser exclut donc l'idée de corps organiques contemporains des formations les plus anciennes, et les empreintes que l'on remarque dans les terrains houillers seraient postérieures à la formation de ce combustible, ce qui n'exclut pas la possibilité de formations plus modernes, dans lesquelles on trouve des troncs d'arbres mono-

cotylédonés, perpendiculaires au plan des couches de houille.

N'est-il pas très probable qu'il y a aujourd'hui même des houilles en voie de formation partout où le naphte distille naturellement à la surface de la terre, comme cela se voit en Italie, en Perse, en Chine et dans beaucoup d'autres contrées, et là où l'on voit s'élever du fond de la mer des bitumes plus ou moins solides, comme à l'île de la Trinidad, comme dans la Mer Morte...

A première vue, on pourrait croire qu'il a fallu d'énormes quantités de carbures d'hydrogène pour donner naissance aux houilles; mais il n'en est rien, car le carbure le moins riche en carbone en contient 75 p. 100. Le tableau suivant montre la composition de divers carbures d'hydrogène.

Gaz des marais, proto-carb. d'hydrogène	$= C^2H^4$	$= C^{75} + H^{25} = 100$
Gaz oléfiant — bi-carbure d'hydrogène	$= C^4H^4$	$= C^{86} + H^{14} = 100$
Naphte........................	$= C^{14}H^{13}$	$= C^{87} + H^{13} = 100$
Pétrolène........................	$= C^{40}H^{32}$.	$= C^{88} + H^{12} = 100$

Ainsi, le pétrolène, que l'on peut considérer comme du pétrole pur, contient 88 pour 100 de carbone! M. Boussingault considère la partie résineuse du brai gras minéral $C^{40}H^{32}O^4$ comme le produit de l'oxydation du pétrolène, et cette opinion nous paraît incontestable.

Le bois (la cellulose) $C^{12}H^{10}O^{10}$ ne contient que 44, 44 pour 100 de carbone, moitié moins que le pétrolène!

Mais, dira-t-on, si cette théorie est vraie, s'il a plu du pétrole, toute la terre devrait être enveloppée d'une couche de houille uniforme; on devrait en trouver tout au moins dans toutes les vallées, et il n'en est point ainsi. Au premier aperçu, cette objection paraît avoir une certaine valeur, mais en l'examinant à fond, elle perd toute son importance. Et d'abord cette objection serait applicable aux deux théories que j'ai signalées au début de cette note, ensuite elle cesse d'être applicable à la nôtre, par la raison capitale que voici : c'est qu'il fallait des bassins pour arrêter au passage et pour contenir les éléments de la future houillère; or, qui oserait affirmer que toutes les vallées contenaient des cavités propres à former des bassins houillers?.... D'ailleurs, en admettant partout l'existence de bassins propres à former des houillères, les

carbures d'hydrogène généralement moins denses que l'eau, ont dû être déplacés par celle-ci à plusieurs reprises, et rejetés en d'autres lieux et dénaturés, soit par la combustion, soit autrement.

En résumé, les combustibles minéraux, à l'exception de la tourbe et du bois altéré, dériveraient tous des carbures d'hydrogène existant primitivement à l'état de gaz et de vapeur dans l'atmosphère, ensuite à l'état sphéroïdal, puis à l'état liquide à la surface de la terre.

Ces carbures d'hydrogène (le naphte, le pétrole) se seraient évaporés, d'une part, et, de l'autre, dédoublés;

Ce phénomène d'évaporation et de dédoublement aurait été le résultat de l'action combinée de l'atmosphère et de la haute température du globe;

La partie évaporée aurait été de nouveau condensée et serait retombée sous forme de pluie sur la terre pour reproduire de nouveau le phénomène ci-dessus;

La partie dédoublée se serait répandue dans l'atmosphère à l'état de proto-carbure d'hydrogène, d'eau et d'acide carbonique, et d'autre part fixée sur la terre à l'état de carbure d'hydrogène sursaturé de carbone, où elle aurait absorbé l'air atmosphérique, pour atteindre un premier degré de *houillification*, par une sorte de combustion lente ou érémacausie (Voyez les *Expériences* précitées, 95, 76, 75, 74 et 73[mes]) (1);

Ces phénomènes se seraient reproduits périodiquement et auraient formé, avec les matières charriées par les eaux, les stratifications des houillères.

On peut déduire directement de la forme des bassins houillers

(1) Prenons pour exemple le pétrolène de l'oxygène de l'air.

$2(C^{40}H^{32}) + 8O$ .... $= 80C + 64H + 8O$

$C^{40}H^{32}$ produit évaporé sans altération . $= C^{40}H^{32}$
$2(CO^2)$ 2 équivalents d'acide carbonique. $= 2C + 4O$
$4(HO)$ 4 équivalents d'eau .... $= 4H + 4O$
$2(C^2H^4)$ 2 équival. de gaz des marais . $= 4C + 8H$
$4(C^2H^4) + C^4H^4 + C^{22}$ { houille en voie de formation. } .. $= 34C + 20H$

(ensemble) $= 80C + 64H + 8O.$

Dans cette équation, on n'a pas tenu compte de l'azote de l'air atmosphérique, dont les combinaisons possibles sont très faciles à concevoir.

en *fond de bateau* ou en *cul de chaudron*, que les houilles ont été primitivement tout à fait liquides.

Il est presque inutile d'ajouter que quelques bassins houillers ont été, comme toutes les autres formations qu'composent l'écorce du globe, sujets à des bouleversements qui en ont changé totalement la configuration ; mais ces bouleversements, d'ailleurs facilement reconnaissables, ne sauraient détruire le fait constaté par les géologues, à savoir : que la forme des bassins houillers est toujours primitivement concave ; s'il en était autrement, on ne pourrait plus dire : des bassins houillers ; c'est une locution qu'il faudrait bannir de la géologie.

Ces phénomènes ont dû précéder de beaucoup l'apparition des végétaux sur la terre, qui n'ont pu exister que par l'acide carbonique, dont on trouve une source abondante dans la combustion des carbures d'hydrogène.

L'existence d'empreintes de corps organisés, végétaux ou animaux, peut donc être postérieure aux premiers temps de la formation de la houille, et d'ailleurs ces empreintes se retrouvent dans les autres formations, à l'exception des terrains primitifs et des terrains volcaniques; on ne saurait donc en rien conclure quant à l'origine de la houille.

La théorie que je propose satisfait, comme on voit, à toutes les conditions connues du problème, elle explique clairement et simplement la formation des houilles primitives et celle des houilles secondaires, c'est-à-dire celles qui sont caractérisées par des empreintes de corps autrefois vivants, soit végétaux, soit animaux; elle montre comment et pourquoi il y a des couches de houille d'inégale épaisseur et pourquoi aussi les bassins qui contiennent ce combustible minéral ont tous une forme concave (sauf les relèvements dont il a été question plus haut) dans laquelle les houilles se sont moulées lorsqu'elles étaient fluides; enfin, elle explique d'une manière satisfaisante la formation des houilles qui reposent sur le granit et autres roches primitives.

Et maintenant, si je voulais dire en deux mots l'origine de la houille et son avenir, je dirais : *La houille est venue de l'atmosphère par précipitation, et elle y retourne par combustion.*

RÉSUMÉ GÉNÉRAL.

PREMIÈRE PARTIE.

« Wenzel ne fut pas compris, on ne
» sentit point la portée de ses vues. »

THENARD, *Traité de chimie*,
6e édit., t. V, p. 411 (1).

En résumant ce travail, nous voyons : 1° que la limite dernière de température à laquelle l'eau peut passer à l'*état sphéroïdal* en quantité notable, est de + 142° c. ;

2° Que la température du vase dans lequel on fait passer un corps quelconque à l'état sphéroïdal doit être d'autant plus élevée que le point d'ébullition de ce corps l'est davantage ;

3° Que l'eau à l'état sphéroïdal s'évapore d'autant plus vite que la température du vase qui la contient est plus élevée, et que son évaporation est, sous cet état particulier, cinquante fois plus lente dans une capsule chauffée à + 200° que par ébullition à l'état liquide ordinaire ;

4° Que *la température des corps à l'état sphéroïdal, quelle que soit d'ailleurs celle du vase qui les contient, est toujours inférieure à celle de l'ébullition; qu'elle est proportionnelle à celle-ci et de + 96°,5 (?) pour l'eau ;* c'est en faisant l'application de cette loi que j'ai pu me proposer la solution de ce singulier problème : *étant donné un espace chauffé à blanc y congeler instantanément de l'eau ;*

5° Que la température de la vapeur des corps à l'état sphéroïdal est égale à celle des vases qui la contiennent ; en d'autres termes, que l'équilibre de chaleur s'établit toujours entre la vapeur d'un corps à l'état sphéroïdal et l'espace qui la renferme, et

(1) Voy. la note de la p. 206.

que cet équilibre ne saurait s'établir entre cet espace et le corps à l'état sphéroïdal d'où naît la vapeur;

6° Que les corps à l'état sphéroïdal jouissent d'un pouvoir réflecteur presque absolu à l'égard du calorique;

7° Que tous les corps peuvent passer à l'état sphéroïdal (?);

8° Qu'il n'y a pas de contact entre les corps à l'état sphéroïdal et les surfaces qui les font naître;

9° Que l'état sphéroïdal de l'eau est la cause principale des explosions dites *fulminantes* des chaudières à vapeur;

9° *bis*. Une étude approfondie de la cause des explosions fulminantes des chaudières à vapeur a permis de concevoir et d'exécuter un système de générateur de vapeur entièrement nouveau, système applicable aux plus petites forces (1/2 cheval) aussi bien qu'aux plus puissantes chaudières. Les petites chaudières de ce système comblent une lacune qui existait dans l'industrie, en créant une *force ouvrière*, une *force domestique;* et l'étude de la matière à l'état sphéroïdal, n'eût-elle produit d'autre résultat, qu'elle justifierait pleinement la persévérance de l'auteur dans la voie qu'il a suivie.

10° Que les métaux n'ont été étudiés jusqu'à ce jour qu'à l'état solide, à l'état sphéroïdal et à l'état gazeux (voy. la 59e *Expér.*);

11° Que les phénomènes observés et décrits dans tout le cours de ce travail se reproduisent, comme à l'air libre, dans la moufle d'un fourneau à coupelle, c'est-à-dire dans un espace chauffé à blanc de toutes parts, dans le vide de la machine pneumatique, et au foyer d'une lentille par l'action des rayons solaires;

12° Enfin, qu'un gaz permanent liquéfié, et qui dans cet état bout à — 11°, ne bout plus, et ne se volatilise qu'avec lenteur dans UNE CAPSULE ROUGE DE FEU ET MAINTENUE DANS LE VIDE, s'il est sphéroïdalisé.

DEUXIÈME PARTIE.

13° L'étude de l'état sphéroïdal dans ses rapports avec la chimie n'est ni moins intéressante, ni moins importante que dans ses rapports avec la physique.

14° En faisant passer certains corps à l'état sphéroïdal, on a un moyen puissant d'oxydation ou de combustion lente, d'action et de réaction, d'analyse et de synthèse et d'ozonisation.

15° La vapeur des corps à l'état sphéroïdal, étant très rare, se trouve être à l'état naissant, c'est-à-dire dans les conditions les plus favorables aux décompositions et aux combinaisons.

16° C'est une nouvelle voie ouverte à l'infatigable activité des chimistes, quand ils y entreront sans craindre d'être arrêtés par les premiers obstacles qu'ils y rencontreront.

17° Il suffit de relire la description de la première expérience qui commence la partie chimique de cet ouvrage, pour reconnaître tout d'abord ce que promet l'étude des corps à l'état sphéroïdal au point de vue chimique; on trouvera dans cette expérience un exemple du phénomène que j'ai qualifié de *respiration de la matière inorganique*.

17° *bis*. La partie expérimentale de ce livre n'est pas complète, l'auteur le sait, et il le dit; mais si l'on savait l'exiguïté de ses ressources expérimentales et le temps qu'il a pu consacrer à ces recherches, peut-être lui saurait-on gré du peu qu'il a fait.

TROISIÈME PARTIE.

18° Les corps à l'état sphéroïdal sont maintenus au delà du rayon de l'action chimique, non par leur propre vapeur, mais par une force répulsive que la chaleur développe dans les corps.

19° Une force attractive s'exerce entre toutes les molécules d'un corps à l'état sphéroïdal, qui fait qu'il se comporte comme s'il était réduit à un point matériel isolé dans l'espace.

20° Jusqu'ici les mots *état sphéroïdal* n'ont été employés que pour éviter les périphrases; maintenant nous leur accordons et nous leur accorderons à l'avenir une valeur théorique analogue à celles des mots *état solide*, *état liquide*, *état gazeux*.

21° Parmi les propriétés nombreuses qui différencient les corps à l'état sphéroïdal des corps sous les trois autres états, se trouve celle-ci : La température des corps à l'état sphéroïdal est *une et invariable*, tandis que celle des corps à l'état solide, liquide et

gazeux est *multiple et variable à l'infini*. En d'autres termes, les corps à l'état sphéroïdal sont, par rapport à la chaleur, dans un *état d'équilibre stable ;* tandis que sous les trois autres états, les corps sont, par rapport au même dynamide, dans un *état d'équilibre instable*. (Voy. § III de la 3e partie.)

22° On a vu plus haut que les corps à l'état sphéroïdal restaient constamment à une température inférieure à celle de leur ébullition : c'est une propriété de la matière sous cet état, c'est-à-dire un effet dont la cause est inconnue.

23° Si l'on admettait les vues d'Ampère sur la cause de la chaleur, et quant à moi je les admets, on dirait que la température est au corps à l'état sphéroïdal ce que le ton est au corps qui vibre, et que la cause de l'état sphéroïdal peut être légitimement attribuée à des mouvements vibratoires. (Voy. § V de la 3e partie.)

24° Les volumes des sphères des corps à l'état sphéroïdal sont en raison inverse de leurs poids spécifiques, et leurs masses sont égales entre elles.

25° D'où il suit que le corps à l'état sphéroïdal est soumis à la loi de l'attraction et constitue un satellite de la terre (?).

26° Les corps à l'état sphéroïdal ayant des propriétés des corps planétaires, on peut admettre par analogie que ceux-ci ont des propriétés de ceux-là, et l'on arrive ainsi à la cosmologie que voici :

27° Le soleil existait primitivement seul au centre de notre monde planétaire.

28° Des éruptions volcaniques ont eu lieu dans cet astre, et des parcelles de sa substance ont été projetées dans l'espace à des distances inégales et ont formé les planètes.

29° Celles-ci, possédant les propriétés du centre d'où elles provenaient, ont à leur tour lancé des fragments de leur masse pour former les satellites.

30° Les bolides, les astéroïdes, etc., ont la même origine que les planètes et leurs satellites.

31° Ce système ne diffère point de ceux de Buffon et de Laplace quant à l'origine des planètes et des satellites, mais il en diffère radicalement quant aux causes de leur formation. (Voy. § VIII de la 3e partie.)

32° C'est aux géomètres à décider si ce système, qui n'a besoin ni du choc de la comète de Buffon, ni des mouvements si compliqués de celui de Laplace, mérite d'être discuté et examiné à fond, et s'il satisfait à toutes les conditions du problème. (Voy. § VII, 3° partie.)

33° Les probabilités en faveur de ce système se présentent en foule dans l'examen du globe terrestre : 1° Il a une origine ignée. 2° Un fragment qui équivaut au 49° de son volume en a été enlevé, et le vide formé par la projection de ce fragment constitue aujourd'hui le bassin des mers. 3° C'est en se précipitant dans ce bassin, que les eaux qui couvraient la terre ont creusé les vallées, transporté les blocs erratiques, roulé les galets, etc., etc. 4° Enfin, la formation des montagnes par voie de soulèvement n'a pas d'autre cause que celle qui a creusé le bassin des mers en projetant la lune dans l'espace. Il en est de même des tremblements de terre et des éruptions volcaniques : tous ces phénomènes ont une origine commune ; ils sont dus à la même cause, agissant avec plus ou moins d'intensité et de l'intérieur à l'extérieur ; ils sont dus au mouvement vibratoire de la masse en fusion qui constitue la presque totalité de la terre.

33° *bis*. Une seule force agit aujourd'hui dans la nature : c'est l'attraction, qui a pour antagoniste la répulsion, qui n'est que de l'attraction en moins. (Voy. la note de la page 291.)

34° Tous les corps se comportant de la même manière en présence des surfaces incandescentes, on peut en inférer que la matière est homogène.

35° L'éther constitue la molécule primitive de la matière.

36° L'hydrogène est le premier corps matériel que nous connaissions ; c'est de l'éther condensé, tangible et pondérable.

37° Son poids atomique est un multiple de celui de l'éther ou de corps intermédiaires inconnus, mais qui seraient eux-mêmes des multiples de l'éther.

38° D'après cela, l'hypothèse du docteur Prout, reprise par Dumas et son école, serait nécessairement vraie.

39° Les molécules de tous les gaz sont sphériques, creuses et de

même volume; elles ne diffèrent entre elles que par une plus grande épaisseur de leur paroi.

40° En se condensant et en tombant sur une surface chauffée à une certaine température (Voy. 1re partie, § I), les corps passent à l'état sphéroïdal.

41° *Ce phénomène s'est produit nécessairement à la surface du globe sur une échelle immense;* probablement il se produit encore à la surface du noyau incandescent qui constitue la plus grande partie de notre planète.

42 Les corps à l'état sphéroïdal ayant une température constante (?), indépendante du milieu ambiant, sont propres à l'incubation.

43° S'ils sont propres à l'incubation par leur température, on peut admettre qu'ils ont pu servir à cette importante et mystérieuse fonction dans les temps primitifs . . . .
. . . .

44° Il est permis d'espérer que l'état sphéroïdal, qui comprend la nature entière (1), depuis les plus grands corps célestes jusqu'aux infiniment petits des corps organisés, sera tôt ou tard l'objet de l'attention universelle.

RÉSUMÉ FINAL.

A ceux des lecteurs qui trouveraient trop long le résumé qui précède, nous offrons celui-ci :

Un principe,
Une force, une matière.

(Voyez la table.)

(1) Toujours quant à la forme, presque toujours quant aux propriétés.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.



